



Doctorat ParisTech THÈSE

pour obtenir le grade de docteur délivré par

**L'Institut des Sciences et Industries
du Vivant et de l'Environnement
(AgroParisTech)**

Spécialité : Sciences de l'environnement

présentée et soutenue publiquement par

Hermine PAPAZIAN

le 18 décembre 2015

De la pluralité au pluralisme (sahélien)

**Conception et expérimentation d'un modèle « orienté-acteurs » de pluralisme de régulation
foncière pour le Sahel rural**

Directeur de thèse : **Patrick d'AQUINO**

Jury

Patrick d'AQUINO, Chercheur & HDR, UPR Green, CIRAD
Camilla TOULMIN, Docteur & Senior Fellow, IIED, London
Juliette ROUCHIER, Directrice de recherche, UMR LAMSADE, CNRS
Raphaël MATHEVET, Directeur de recherche, UMR CEFE, CNRS
Etienne LE ROY, Docteur d'État & Professeur Émérite, Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne

Directeur de thèse
Rapporteur
Rapporteur
Examineur
Examineur

**AgroParisTech
UPR Green CIRAD**

Campus international de Baillarguet. 34398 Montpellier Cedex 5. France

*« C'est pourtant précisément ce qui est invisible dans le territoire
qui fait de ce qui n'est qu'un espace vide pour une personne
un lieu pour une autre »*

(Barry Lopez,
Rêves arctiques.
Imagination et désir dans un paysage nordique)

Remerciements

« *Toutes les questions ont été déjà été posées, mais pas forcément sous la même forme* » (**Jacques Weber**, premier comité de thèse, Novembre 2013). Quand j'ai commencé cette thèse, je ne me posais pas vraiment de questions. Aujourd'hui sur le point de la finir, je m'en pose assez pour qu'il me faille au moins une vie pour tenter de commencer à toutes y répondre. Entre les deux je suis devenue « jeune chercheuse », avec l'envie de tout questionner, de tout creuser, de tout comprendre... Avec la certitude que les certitudes n'existent pas, que pour essayer de comprendre et de répondre à un problème complexe, il vaut peut-être mieux commencer par se poser les bonnes questions que d'essayer de trouver à tout prix des réponses, en n'omettant pas les principes fondamentaux issus des plus grands sages : (1) s'il n'y a pas de solution c'est qu'il n'y a pas de problème et (2) en essayant continuellement on finit par réussir donc plus ça rate plus on a de chances que ça marche. Mon premier remerciement ira donc aux Shadoks, mais c'est un remerciement bonus pour l'art de la plaisanterie sérieuse.

Au fil de ces quatre dernières années, je me suis de plus en plus étonnée de constater à quel point la frontière entre les principes et valeurs que je me constituais progressivement dans ma sphère privée et ceux que je découvrais et utilisais tous les jours pour appréhender cet exercice de thèse devenait floue. Cet étonnement a commencé autour d'une histoire de flèche, qui au lieu d'être toute droite est une spirale de cercles enchevêtrés qui se croisent et se recroisent... Et le tout avance très certainement ! Mais de manière un peu plus complexe qu'un chemin tout droitement (pré)-tracé (je vais être obligée de faire un deuxième remerciement bonus à ComMod et au collectif Green pour avoir un jour mis devant mes yeux cette flèche merveilleuse).

Pour rester fidèle à ce flou, c'est donc une pluralité de mercis que je tiens à formuler ici. Ils résultent d'une très grande diversité de sources d'accompagnement qui depuis quatre ans m'ont quotidiennement ou épisodiquement aidées, de près ou de (très) loin, temporairement ou depuis et/ou pour (je l'espère) très longtemps.... Sources d'accompagnement dans et avec lesquelles j'ai puisé et construit des questions, des essais de réponses, des doutes, du raisonnement, de la compréhension, de la connaissance, de l'écoute (beaucoup d'écoute !), des conseils, du soutien, du rire, de l'expérience, et surtout du sens... Pour conclure ce préambule, un processus de thèse est avant tout pour moi une construction commune, le remerciement devrait donc également commencer par en être un aussi. Alors Commun, un premier immense merci ! Et pour le reste, je n'aime pas trop hiérarchiser, donc ce qui va suivre continue de reproduire la forme d'enchevêtrement qui semble être le mot d'ordre de ces remerciements.

François Bousquet et **Patrick d'Aquino**, vous êtes progressivement devenus un unique morceau de cercle enchevêtré pour moi dans cet exercice de thèse. L'un comme l'autre, chacun à votre manière et à des temporalités différentes, vous m'avez accompagnée dans ce long travail, alors grand merci à vous. **Patrick**, merci particulier d'avoir rendu cette aventure possible et de m'avoir mise sur les rails de cette spirale de cercles enchevêtrés, de manière plutôt intense mais somme toute très formatrice. **François**, ça commence avec de la reproduction de lapins à Montpellier en février 2013, ça continue avec des entreprises à gonfler des ballons à Dakar en juillet 2015, et au milieu de tout ça, énorme merci d'avoir partagé avec moi ton temps, ton savoir, tes conseils et ta très belle pédagogie.

(Mon) **père**, merci d'avoir fait que ce premier chemin pré-tracé où l'on ne se pose pas de questions soit si juste que quand on décide de commencer à s'en poser, le regard sur son passé soit déjà rempli de sens. (Ma) **mère**, merci d'avoir dynamiquement accompagné mes nombreuses interrogations, et d'avoir su ralentir, avec à chaque fois ce qu'il faut de justesse, le rythme de tous les moulins et petits vélos rencontrés sur la route pendant 4 ans.

Martine (grand merci pour les conseils et les nombreuses relectures !), **Christophe** (j'attends donc officiellement une visite-marathon des falaises d'Etretat), **Nathalie**, **William's**, **Françoise**, **Pierre**, **Aurélie**, **Jean-François**, **Marie-Gabrielle** et vous tous **Collectif Green**, merci d'avoir rendu mon séjour parmi vous aussi humainement chaleureux et sympathique, et d'avoir activement participé à faire avancer cette thèse, sans jamais à un seul moment me faire sentir que vous aviez mieux à faire. **Pascale Maizi**, pas officiellement Green mais pour le reste c'est tout comme, merci pour l'exercice de veille indirecte mais constante ces deux dernières années.

Merci à **Nouch** pour avoir partagé avec poésie et une patience shadokienne (!) sa vision du monde, et à **Tifenn** pour son jeune mais grand art de l'écoute. **Camille**, ça commence en 2011 à Widou Thiengoly par un grand enthousiasme partagé sur le principe tout à fait formidable des séjours en brousse profonde, et ça continue depuis, avec un mélange dynamique d'à peu près tout ce qu'il est possible de puiser et de construire avec quelqu'un. Le cercle que l'on forme est l'un des plus enchevêtrés qui soit, alors rien que pour ça, un grand merci. **Guillaume**, merci d'avoir physiquement (et skype) accompagné cette aventure depuis son presque début, en trouvant toujours l'attention, l'écoute, les mots et juste ce qu'il faut d'humour et de rire pour donner suite (et sens !) à mes questionnements parfois les plus compliqués. Et un merci spécial de la part de Météo-France à ta personne, pour quotidiennement participer à ce qu'il fasse grand soleil sur Montpellier. **Emilie**, d'abord de très près puis de très loin, mais toujours très fidèlement, merci d'avoir indirectement accompagné ce processus depuis 5 ans, en étude de faisabilité au Mali en 2010, en développement de projet au Sénégal entre 2011 et 2013, et en suivi-évaluation entre Madagascar, la France et le Canada depuis. **Aline** merci de m'avoir offert un cadre de télétravail dakarois aussi sérieux et productif pendant la première année et demi de ce parcours. **Margot**, merci d'avoir été un petit bulldozer d'énergie printanière sur cette session Baillarguet 2015, et d'être arrivée dans le décor à point nommé.

Pour l'immense morceau de cercles enchevêtrés que représente pour moi le Sénégal, et plus particulièrement Dakar, un premier grand merci aux **Bélard-Maillot** pour avoir été une incroyable famille d'accueil pour ce retour en terre promise ; merci à **l'équipe du PPZS-ISRA** - et plus particulièrement à **Christian Corniaux** - pour l'accueil chaleureux dans vos locaux et la grande disponibilité ; merci à **Alpha Bâ**, **Jérémy Bourgoïn**, **Ibrahima**, **Ndoubé**, **Seydou** et **Rama** pour ce voyage au fin fond du Sénégal et votre grande contribution à la réalisation de ces ateliers en avril 2014 ; un merci tout particulier à toi **Sarah**, pour ce qui précède et aussi pour avoir maintenu à distance une veille discrète mais régulière sur ma personne ; Merci à **Sidy Seck** d'avoir été un tonton d'adoption pendant mes séjours à Saint-Louis, et d'avoir toujours pris le temps de m'écouter et de me conseiller, en me rappelant bien à chaque fois l'importance du terrain (!). Merci à **Nicolas Jouanard** pour les bouts de colocation et de télétravail saint-louisiens improvisés. Merci à **Mathieu** pour les grands puis petits bouts de colocation dakaroise, et tout particulièrement celui de juillet 2015.

Et enfin un immense merci aux très autres nombreuses personnes que j'ai rencontrées tout au long de ce voyage sénégalais et avec qui j'ai été amenée à interagir, vivre, travailler, et partager un bout de vie...Merci d'avoir notamment accepté de partager avec moi vos perceptions, vos visions du monde, et d'avoir rendu l'expérience « terrain » de cette aventure aussi riche d'apprentissages, et de sens. Un dernier merci bonus aux institutions qui rendent ces expériences possibles, et dans le cas particulier de ma thèse : le Cirad, le Comité technique « Foncier et développement », et le FIDA.

Le remerciement n'oublie pas le collectif amical, qui aide lui à oublier la thèse de jour comme de nuit quand ça devient nécessaire, qui aide à lui donner une cohérence quand ça devient nécessaire aussi, et qui constitue dans tous les cas autant de cercles enchevêtrés entre cet exercice de thèse et celui de vie qu'un grand merci général est de mise ici aussi. Merci donc déjà à la team des Green juniors, permanents comme de passage, et aux autres amis Baillarguiens et Montpelliérains pour cet accompagnement quotidien : **Gabriel** (merci particulier pour la veille bienveillante et permanente depuis le bout du couloir), **Caroline** (merci de m'avoir régulièrement nourrie de Princes, et d'avoir fait l'effort de me parler dès 8h du matin sur le chemin de l'école), **Nicolas Karim Paget** (merci particulier pour avoir accompagné mes questions par toutes tes riches références et pensées, et pour m'avoir fait rire chaque fois que je t'ai vu-lu depuis ces premiers jours d'initiation Cormassienne de septembre 2013), **Aude, Ola** (merci particulier pour la douce attention...Et pour la grande écoute !), **Tamara** (merci pour ta curiosité et ton enthousiasme débordants qui donnent toujours l'impression que l'on dit ou fait des choses formidables), **Pauline** (merci pour l'écoute très compréhensive, et pour avoir toi aussi accompagné mes questions par tes riches références et pensées), **Arthur** (ravie d'être allée au front pour l'assaut final à tes côtés), **Marie-Marie, Elias, Floor, Julie, Amandine, Anne** (vraiment, merci beaucoup !), **Bruno** (merci tout particulier pour ce bout d'été de l'arc-en-ciel improvisé) et enfin mes anciens et/ou actuels compagnons de route du bureau F205 : **Paulo, Hasina, Antonio, et Francesca**. Merci par ailleurs à **Raphaël Perez** d'avoir été un formidable colocataire pendant 1 an et d'avoir régulièrement participé à enrichir les débats collectifs par ses profondes réflexions, et merci à **Claudia** et lui pour l'attention et le soutien réguliers. Et **Bertrand**, merci d'avoir été particulièrement présent dans ce dernier mois et demi de folie rédactionnelle pour maintenir mon corps et mon esprit en forme de manière aussi amicalement sympathique.

Jean-Guy, depuis les sessions diurnes de télétravail dans diverses localités dakaroises aux sessions nocturnes de réflexion entre les rues de Dakar et celles d'Antananarivo, merci d'avoir été un aussi fidèle camarade de jeu. **Clémence (feu) de Malglaive** (merci pour l'écoute et les conseils avisés), **Thomas Mantet** (merci d'avoir choisi de partager avec moi ton expérience de vie), **Anne-Sophie** (merci de m'envoyer ravi aussi régulièrement), **Renaud** (merci particulier pour m'avoir permise de m'envoler), **Anne-Marie, Joseph Bassama, Martin Lemaire, Anaïs, Clément, Clémence Jouan**, bref vous **Collectif dakarois** et plus si affinités, un grand merci pour le soutien et les innombrables souvenirs. Enfin Collectif des anciens, **Louise Quesnel, Thomas Mattei, Romain Hudan et Olivier Vidal**, merci d'être dans le coin parfois depuis très (très !) longtemps, et de représenter des précieuses vagues de régularités dans cet océan de changement.

Un dernier immense merci aux grands penseurs qui ont précédés et accompagnés ma petite pensée, à commencer par **Etienne Le Roy** dont on ne compte plus dans cette thèse le nombre de citations, tant il représente à lui seul une source inépuisable de connaissance, de sens et d'inspiration.

Résumé

Au Sahel rural, les populations développent depuis des siècles de manière dynamique et évolutive des règles locales d'usage et de gestion de l'espace qui permettent de minimiser l'incertitude sur la rareté et l'imprévisibilité des ressources sahéliennes. En parallèle, les différentes politiques foncières successivement mises en place par les Etats Sahéliens, ne reconnaissant pas ces règles locales, ont véhiculé des approches du « foncier » et de son appropriation de conceptions trop étrangères au contexte sahélien local pour parvenir à effacer les régulations originellement en place. Le pluralisme de régulation résultant de cette situation foncière complexe est certes en partie informel, mais n'en est pas moins persistant, s'adaptant dans le temps aux différentes contraintes et incertitudes économiques et environnementales particulières à la zone sahélienne.

La thèse ici défendue est que si un pluralisme en matière de régulation foncière persiste dans ces contextes sahéliens de grandes incertitudes climatique et économique, c'est parce qu'il continue de faire sens pour les acteurs qui le définissent et le pratiquent. Plutôt que d'adopter exclusivement les nouvelles politiques foncières successivement mises en place et de renoncer à leurs régulations locales, les populations sahéliennes ont intégré ces politiques foncières à leurs sources locales de régulation déjà existantes. Ce pluralisme de régulation est ainsi le produit d'une situation complexe où les acteurs mobilisent de façon différente, en fonction de la situation locale et de l'usage foncier considéré, à la fois leur « fond » de régulation local et les différentes sources de régulation issues des politiques foncières (qu'il s'agisse d'une réglementation actuelle ou bien d'une réglementation officiellement obsolète), se référant ainsi dans leurs pratiques à des sources de régulation différentes en fonction de la situation donnée. Au regard des perceptions spécifiques et diversifiées que les acteurs ont des ressources de leur environnement, des manières de les réguler, et de ce qu'ils mobilisent, créent, et interprètent en conséquence, ces acteurs donnent donc sens à une pluralité de sources de régulation foncière. L'expression d'un pluralisme de régulation est ici considérée comme la résultante globale de l'assemblage de cette diversité de perceptions et de pratiques foncières dans le temps et l'espace.

A travers une approche pluridisciplinaire, exploratoire et constructiviste, s'appuyant sur les fondements de l'approche de Modélisation d'Accompagnement, la thèse propose donc un cadre conceptuel permettant une lecture « orienté-acteurs » d'un pluralisme de régulation foncière au Sahel rural. La conception du cadre, progressive et itérative, assemble cadre théorique croisant socio-anthropologie du foncier sahélien et concept de système socio-écologique, travaux de terrain, essais de modélisation et expérimentation de simulation participative (via jeu de rôles) et de simulation multi-agents. Les travaux de terrain se déroulent au Sénégal, un pays sahélien cristallisant cette problématique de pluralisme de régulation foncière.

Questionner quelle place peut aujourd'hui avoir un pluralisme de régulation dans les politiques foncières au Sahel rural commence par permettre le dialogue entre une pluralité de perceptions (rendue possible par le choix de cadre d'expression adopté), sur le sens que l'on donne à ce concept, le débat s'ouvrant ainsi à la participation de différents cercles d'acteurs (des pays occidentaux comme des pays d'Afrique Sahélienne) pouvant trouver un intérêt à cette question.

Mots clés : pluralité, perceptions d'acteurs, politique foncière, régulation, Sahel rural, pluralisme

From plurality to (Sahelian) pluralism

**Conception and experiment of a ‘stakeholder-oriented’ conceptual framework
regarding land regulation pluralism in rural Sahel**

Abstract

In rural Sahel, local populations have been making for centuries dynamic changes to local rules of land use and management to reduce uncertainty centred on the scarcity and the impossibility to forecast Sahelian resources. In parallel to these already complex local regulations, the official regulations set up by Sahelian States, which do not recognize the existing local ones, have used approaches inspired from Western policies strongly different from these local regulation contexts. This is in peculiar the case for the land tenure policies, which are based on land tenure and ownership framework so far away from the land regulation Sahelian frameworks that they have not succeeded in replacing them. The pluralism of land regulation resulting from this complex land tenure situation is an informal but lasting feature, continuously adapting to the different climatic and economic constraints and uncertainties of the Sahelian environment.

This doctoral thesis argues that this pluralism of land regulation remains a constant feature in rural Sahel because it is meaningful for Sahelian actors who define and implement it. Rather than abandoning their practices and exclusively adopt the new land tenure policies set up successively, local populations have added these land tenure policies to their pre-existing sources of regulation. A complex situation has emerged in which stakeholders mobilise—according to their needs and diverse perspectives - the different sources of regulation that they consider are available to them: the basis of local regulation, present official regulations and even previous official regulations that are now obsolete. Established local interactions between social and ecological dynamics for the need to access (and secure access) to the different land resources participate in legitimating different land regulation sources at the macro-level of a Sahelian territory. The pluralism of regulation observed in Sahel therefore results from the gathering of this diversity of perspectives - and therefore of land practices - in space and time.

The present research develops a “stakeholder-oriented” conceptual framework to help formalizing and better understanding the complexity of this pluralism of land regulation. The conceptual framework is built following the multidisciplinary and exploratory basics of a Companion Modelling approach. The conceptualization is therefore progressive and iterative based on a combination between a theoretical framework – combining Sahelian land tenure socio-anthropology with the concept of socio-ecological system - field experiment, modelling tests, and finally participatory (via a role playing-game) and agent-based simulation experiment. The field experiment is conducted in Senegal, a Sahelian country highlighting this land regulation pluralism issue.

Wondering what place a pluralism of land regulation should or could have in the future of Sahelian land tenure policies begins by allowing the dialogue between a plurality of perspectives on the meaning of this concept. A choice of framework allowing the expression and understanding of a plurality of perspectives can help opening the discussion with various circles of actors (of Western as of Sahelian countries) who might take an interest in this question.

Keywords: plurality, actors’ perspectives, land tenure policy, regulation, rural Sahel, pluralism

Table des matières

| | |
|--|-----------|
| Remerciements | 4 |
| Résumé..... | 7 |
| Abstract | 8 |
| Introduction générale..... | 12 |
| 1. Le pluralisme sahélien à l'épreuve du temps | 12 |
| 2. Problématique et question de recherche | 13 |
| 3. Ancrage institutionnel et scientifique du travail de recherche | 15 |
| 4. Architecture d'une thèse par articles sur l'évolution d'un modèle « orienté-acteurs » de pluralisme de régulation foncière | 15 |
| Chapitre 1 : La diversité des perceptions d'acteurs comme essence d'un pluralisme de régulation foncière au Sahel rural..... | 25 |
| Synthèse | 25 |
| 1. Introduction..... | 27 |
| 2. Cadre théorique..... | 28 |
| 3. Terrain d'étude..... | 29 |
| 4. Méthodologie | 30 |
| 5. Résultats : structuration sur la base du cadre théorique de la diversité des perceptions recueillies sur le terrain..... | 30 |
| 6. Discussion | 35 |
| 7. Conclusion | 36 |
| Chapitre 2 : Jouer avec diverses sources de régulation foncière : le pluralisme sahélien | 38 |
| Synthèse | 38 |
| 1. Introduction..... | 40 |
| 2. Cadre méthodologique..... | 41 |
| 3. Résultats | 49 |
| 4. Discussion | 52 |
| 5. Conclusion | 53 |
| Chapitre 3 : Dynamiser une pluralité de perceptions sur les régulations foncières : un modèle multi-agents focalisé sur les interactions entre usagers et régulateurs pour l'accès aux ressources sahéliennes | 55 |
| Synthèse | 55 |
| 1. Introduction..... | 58 |
| 2. Conceptual and modeling approach | 59 |
| 3. Implemented model | 63 |

| | |
|--|------------|
| 4. Model verification and validation | 72 |
| 5. Simulations and results | 73 |
| 6. General discussion..... | 78 |
| 7. Conclusion | 81 |
| Chapitre 4: Expérimenter l'expression « orienté-acteurs » d'un pluralisme de régulation dans le temps : comment les pratiques foncières sahéliennes intègrent-elles les politiques publiques?.... | 82 |
| Synthèse | 82 |
| 1. Introduction..... | 85 |
| 2. Materials and methods | 86 |
| 3. Results of simulation experiments: a perception threshold exists and indeed depends on the choices of the new land policy introduction pattern | 98 |
| 4. Discussion | 101 |
| 5. Conclusion | 104 |
| Discussion générale | 105 |
| 1. Introduction..... | 105 |
| 2. Perspectives potentielles de recherche | 106 |
| 3. De la pluralité des perceptions au pluralisme des mondes | 111 |
| 4. Conclusion | 113 |
| Références bibliographiques..... | 116 |
| Liste des figures..... | 127 |
| Liste des tables..... | 128 |
| Liste des sigles et acronymes | 129 |
| Table des matières | 130 |
| Annexes | 134 |
| Annexe 1 : Grille d'entretien pour le recueil d'un pluralisme de régulation « sur le terrain »..... | 135 |
| Annexe 2 : An agent-based model to explore a pluralism of land regulation in rural Sahel: supplementary data | 136 |
| Annexe 3: The Sahelian plurality: a role-playing game on land tenure security diverse perspectives | 234 |
| Annexe 4: Lexique d'un foncier « orienté-acteurs » | 246 |
| Annexe 5 : Résultats de simulations de l'intégration de nouvelles régulations foncières dans la situation de référence de pluralisme sahélien..... | 249 |
| Annexe 6 : Evolution des pratiques individuelles des joueurs au niveau de chaque plateau de jeu pour les deux ateliers de simulation participative réalisés..... | 255 |

Introduction générale

1. Le pluralisme sahélien à l'épreuve du temps

En Afrique sahélienne, la situation foncière se caractérise par l'imbrication de normes et d'instances en matière de régulation foncière, articulant des pratiques locales informelles (mais reconnues par les populations) avec un droit foncier légal où l'essentiel du territoire demeure au sein de l'État (voir p.e. Le Bris et al. 1991, Le Roy et al. 1996, Comby 1995, Platteau 1996, Lavigne Delville et al. 1998, Olivier de Sardan 2003).

La zone Sahélienne est caractérisée par une variabilité (écologique, climatique, géographique, spatiale) et une incertitude extrêmes. Le climat est globalement sec et aride, avec très peu d'eau disponible, les précipitations annuelles étant définies par une imprévisibilité maximum et associées à de hautes températures locales. Ces contextes de grande variabilité et incertitude donnent lieu à une répartition disséminée, hétérogène et in fine imprévisible des ressources naturelles de la zone. Les populations sahéliennes ont en conséquence au fil des siècles développées de manière dynamique et évolutive des règles locales d'usage et de gestion de l'espace qui permettent de minimiser l'incertitude sur la rareté et l'imprévisibilité des ressources sahéliennes (Ellis et al. 1988, Thébaud 1990 et 1995, Bassett et Crummey 1993).

Ces règles sont caractérisées par leur grande flexibilité, y compris sous forme d'une grande mobilité des populations afin de tirer parti de l'extrême variabilité de leur environnement (Gallais 1977, Boudet 1981, Behnke et Scoones 1992, Bassett 2009). Elles sont également basées sur une gestion des ressources naturelles construite sur la notion de commun, au sens « *intermédiaire résultant de la constante balance entre intérêts individuels et collectifs* » (Le Roy 2011, p.124). Les règles mises en place (à l'échelle d'une famille, d'un lignage, d'une saison, d'une année, etc.) ont pour objectif de permettre à un maximum de groupes cibles d'avoir accès à ces ressources, trop rares pour faire office d'une appropriation individuelle (Berkes et al. 1989, Ostrom 1990, Freudenberg 1992, Mathieu 1995, Le Roy 1995a, Jacob 2007). Enfin, les systèmes d'exploitation des ressources sont souples et en pluriactivité (Milleville 1992) (multiples droits d'accès distincts sur la même terre, en fonction de la ressource, de l'activité, de la saison...). Les règles locales opérant dans le Sahel et les droits fonciers - nombreux, variables, inaliénables, collectifs, et basés sur l'oralité- qui leurs sont associés sont donc souples et dynamiques dans le temps (Le Roy et al. 1996 ; Bernus et Boutrais 1994, d'Aquino 1998, Winter 1998), appuyant ainsi mieux un multi-usages dont la nature évolue en fonction des contextes locaux, de la période de l'année, du type de pluviométrie annuelle...

Ces systèmes fonciers locaux sahéliens ont été considérés en parallèle par les Etats comme étant de trop faible productivité pour rester économiquement viable dans un contexte de fortes contraintes économiques et environnementales, justifiant pour partie le retard de développement du continent africain par rapport à d'autres régions du monde (Chasteland et al. 1993, Kabou 1991, Brunel 2004, Banque Mondiale 2008). Le manque de productivité des agricultures africaines a été attribué à un manque d'investissement (public et privé) dans le secteur agricole de ces pays. L'hypothèse formulée pour justifier ce manque d'investissement était l'absence de sécurisation foncière des sociétés rurales (Colin et al. 2010). L'histoire foncière de l'Afrique sahélienne montre ainsi qu'à travers

l'objectif de favoriser la sécurisation foncière de ceux qui pouvaient investir dans le secteur agricole – supposés être les mieux placés pour améliorer la productivité – les gouvernements coloniaux et postcoloniaux ont choisi d'opter pour une absence de reconnaissance des régulations foncières locales, et pour une législation basée sur un système de régulation étatique centralisée et sur la généralisation d'une appropriation individuelle et privative des ressources foncières par un processus d'immatriculation foncière (Acte Torrens 1858) (Le Bris et al. 1991, Weber et Reveret 1993, Djiré 2005, Chauveau et al. 2006, Lavigne Delville 2009, Bromley 2008, Le Roy 2011). L'hypothèse sous-jacente était que l'obtention d'un titre foncier légal cessible et transmissible participerait à l'émergence d'une régulation par le marché foncier, donnant ainsi une certaine valeur marchande à la terre qui pourrait ensuite être utilisée comme garantie pour des emprunts auprès d'organismes financiers, en vue d'investissements potentiels (Demsetz 1967, Alchian et Demsetz 1973, Smith 1981, de Alessi 1983, Binswanger et al. 1993, Deininger 2003, de Soto 2005).

Aujourd'hui, malgré le fait que moins de 5% des terres d'Afrique sahélienne sont immatriculées cette approche de la sécurisation foncière constitue le fondement des législations foncières de la plupart des Etats de la zone Sahélienne (Weber et Reveret 1993, Platteau 1996, Djiré 2005, Barrières 2008, Colin et al. 2010, Ouedraogo 2010, Chauveau 2013, Comité technique « Foncier et développement » 2015). D'autres approches alternatives de réforme foncière, basées sur la sécurisation foncière des usagers sahéliens par la reconnaissance de leurs droits fonciers locaux historiques légitimes (Lavigne Delville et al. 1998, Lund 2001, Fitzpatrick 2005, Colin et al. 2010) sont néanmoins en cours dans plusieurs pays (Niger 1993, Mali 2006, Bénin 2007, Burkina Faso 2007). Les gouvernements ont choisi cette fois d'opter pour une législation basée sur un système de régulation par les collectivités locales décentralisées (Toulmin et Quan 2000, Lavigne Delville 2001, Barrière 2008) avec l'hypothèse de rendre plus accessible l'accès des populations locales à des documents juridiques attestant de leurs droits locaux -individuels et collectifs – cessibles, transmissibles et utilisables en gage (Chauveau et Lavigne Delville 2004).

L'évolution de la situation foncière au Sahel rural montre que les différentes politiques foncières successives, même dans leurs approches alternatives, ont en pratique finalement accentué la complexité déjà en place (Bruce et Migot-Adholla 1994, Metah et al. 1999, Coussy 2001, Chauveau et Lavigne Delville 2004, Bromley 2008, Colin et al. 2010, Hall 2012). Elles ont véhiculé des approches du « foncier » et de son appropriation de conceptions trop étrangères au contexte sahélien local pour parvenir à effacer les régulations locales originellement en place. En matière de régulation foncière, les arrangements institutionnels informels continuent donc de prédominer (Mathieu 1996, Cleaver 2002, Jacob 2002, Lavigne Delville et al. 2002, Le Roy 2003, Djiré 2005, Olivier de Sardan 2007). Le pluralisme de régulation (voir p.e. Griffiths 1986, Le Roy et al. 1996, Babin et al. 1997, Chauveau et al. 2001, Jacob 2007) qui résulte de cette situation foncière complexe est certes en partie informel, mais n'en est pas moins persistant, s'adaptant dans le temps aux différentes contraintes et incertitudes économiques et environnementales particulières à la zone Sahélienne.

2. Problématique et question de recherche

Des hypothèses telles que le manque de réalisme des objectifs des politiques foncières au regard des réalités du contexte (Stevenson 1991, Weber et Reveret 1993, Binswanger et al. 1993, Bruce et Migot-Adholla 1994, Le Roy 1995b, Platteau 1996, Heltberg 2002), le manque de moyens humains techniques et financiers pour leur complète mise en œuvre (Rochegude 1998, Toulmin et Quan 2000,

Lavigne Delville 2006a, Chauveau et al. 2006, Toulmin 2008), ou le manque de participation des populations locales à leur processus décisionnel d'élaboration (d'Aquino 2002b, Lavigne Delville et Hochet 2005), ont déjà été formulées pour expliquer l'absence d'application de ces politiques foncières dans la pratique par les populations sahéliennes. Cette absence d'application traduit l'idée que ces politiques foncières n'ont pas été reconnues et légitimées comme source unique et exclusive de régulation dans les pratiques foncières des acteurs sahéliens, d'où le constat de pluralisme de régulation observé.

Le présent exercice de thèse fait ici l'hypothèse que si un pluralisme en matière de régulation foncière persiste dans ces contextes sahéliens de grandes incertitudes climatique et économique, c'est parce qu'il continue de faire sens pour les acteurs qui le pratiquent. « *Le pluralisme des normes est la règle, et non l'exception* » (Chauveau et al. 2001, p.148), et « *le droit n'est pas tant ce qu'en disent les normes écrites que ce qu'en font les acteurs* » (Le Roy 2011, p.396). Plutôt que d'adopter exclusivement les nouvelles politiques foncières successivement mises en place et de renoncer à leurs régulations locales, les populations locales semblent avoir ajouté ces politiques foncières à leurs sources locales de régulation déjà existantes. Ce pluralisme de régulation est ainsi le produit d'une situation complexe où les acteurs mobilisent de façon différente, en fonction de la situation locale et de l'usage foncier considéré, à la fois leur « fond » de régulation local et les différentes sources de régulation issues des politiques foncières (qu'il s'agisse d'une réglementation actuelle ou bien d'une réglementation officiellement obsolète), se référant ainsi dans leurs pratiques à des sources de régulation différentes en fonction de la situation donnée (von Benda-Beckham 1981, von Benda-Beckham and von Benda-Beckham 1999, Cleaver 2002, Meinzen-Dick et Pradhan 2002). Les différentes politiques foncières qui ont été successivement appliquées restent pour les acteurs locaux comme autant de sources de régulation encore potentiellement mobilisables selon leurs besoins, elles conservent donc encore une légitimité à leurs yeux.

Au regard des perceptions spécifiques et diversifiées que les acteurs ont des ressources de leur environnement, des manières de les réguler, et de ce qu'ils mobilisent, créent, et interprètent en conséquence, ces acteurs donnent donc sens à une pluralité de sources de régulation foncière. L'expression d'un pluralisme de régulation est ici considérée comme la résultante globale de l'assemblage de cette diversité de perceptions et de pratiques foncières dans le temps et l'espace. En lien avec ce postulat, la question de recherche explorée dans le présent travail de thèse est la suivante : comment fonctionne en pratique ce pluralisme de régulation, quelle(s) logique(s) d'interactions hommes-sociétés-ressources il sous-tend et quelle place peut-il avoir aujourd'hui dans les politiques foncières au Sahel rural ?

Cette question de recherche a été explorée à travers le développement d'un modèle permettant de formaliser et d'analyser ce pluralisme de fait, qui convoque et mixe une diversité de sources de régulation. Ce pluralisme étant une pratique des acteurs, l'hypothèse formulée est que la façon la plus cohérente de le représenter et formaliser est de partir des perceptions de ces acteurs pour construire le cadre de formalisation. La conception et l'expérimentation de ce modèle ont été rythmées par différents temps de réflexion et de réalisation du processus de recherche : l'appréhension théorique et empirique du concept de pluralisme de régulation (chapitre 1), les démarches mises en œuvre pour comprendre et définir sa dynamique d'expression (chapitre 2 et 3), et l'exploration de la stabilité de cette dynamique dans le temps, au regard des enjeux de réformes foncières passées et actuellement en cours dans différents pays d'Afrique sahélienne (chapitre 4). La

réflexion a ainsi à la fois une portée actuelle, en cherchant à apporter des éléments de compréhension sur la manière dont les politiques foncières de « demain » pourraient être perçues et prises (ou non) en compte par les acteurs des pays concernés ; et à la fois une portée historique, car réfléchir aux futurs possibles commence par chercher à comprendre comment les politiques foncières mises en place depuis les indépendances ont été intégrées dans les pratiques actuelles des populations sahéliennes.

La thèse est ici présentée sous la forme de quatre articles, pour permettre de lier et de suivre le cheminement de la pensée ayant permis l'élaboration progressive d'un modèle « orienté-acteurs » de pluralisme de régulation foncière. Les articles représentent quatre chapitres détaillant les différents temps et aspects de la démarche de recherche, des méthodes et des résultats obtenus et discutés. Un cinquième chapitre de discussion générale et conclusion vient enfin compléter le travail de thèse ici présenté.

3. Ancrage institutionnel et scientifique du travail de recherche

Cette thèse a été conduite au sein du Centre de coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement (CIRAD¹), dans l'unité de recherche Gestion des Ressources renouvelables et Environnement (Green²). Cette équipe, créée en 1993 sous la direction de Jacques Weber, est née de la volonté de chercheurs issus de différentes disciplines de s'engager dans une démarche pluridisciplinaire pour aborder les questions relatives à la gestion des ressources naturelles. Leur approche propose de lire la complexité de l'environnement et de la gestion des ressources naturelles renouvelables (eau, forêts, pêcheries, foncier, agroécosystèmes...) de manière flexible et dynamique, sur la base d'une appréhension de la pluralité des relations entre humains à propos de la nature, en particulier sous l'angle des modes d'appropriation des ressources et des processus de décision dans la gestion. Les processus de décision sont dans cette approche considérés comme des processus d'interactions entre acteurs ayant des intérêts, des perceptions, des niveaux d'information et des poids différents dans la décision (Weber 1995).

La conception et l'expérimentation du modèle « orienté-acteurs » d'un pluralisme de régulation s'est basée sur une approche pluridisciplinaire, exploratoire et constructiviste, s'appuyant ainsi sur les fondements de l'approche de Modélisation d'Accompagnement (Bousquet et al. 1996, Barreteau et al. 1997, d'Aquino et al. 2003, ComMod 2005, Etienne et al. 2010). La formalisation du modèle a été progressive et itérative, sur la base d'aller-retours entre cadre théorique, travaux de terrain, essais de modélisation et expérimentation de simulation participative (via jeu de rôles) et de simulation multi-agents. Les travaux de terrain se sont déroulés au Sénégal³, un pays sahélien cristallisant cette problématique de pluralisme de régulation foncière.

4. Architecture d'une thèse par articles sur l'évolution d'un modèle « orienté-acteurs » de pluralisme de régulation foncière

¹ <http://www.cirad.fr/>

² <http://ur-green.cirad.fr/>

³ Et en partenariat avec le Pôle Pastoralisme et Zones Sèches (PPZS) créé à Dakar en 2001 et réunissant le CIRAD, l'Institut de Recherche Agricole Sénégalais (ISRA), l'Université Cheikh Anta Diop (UCAD) et le Centre de Suivi Ecologique (CSE).

4.1. Article 1 : Formalisation théorique et empirique d'un modèle « orienté-acteurs » de pluralisme de régulation foncière

Ce premier chapitre constitue une première étape du travail de recherche, où la mise à l'épreuve du cadre théorique mobilisé avec des travaux de terrain au Sénégal a permis l'émergence de ce qui est devenu le fil directeur de ce travail de thèse, à savoir que l'expression d'un pluralisme de régulation est la résultante globale de l'assemblage de la diversité de perceptions et de pratiques foncières d'acteurs dans le temps et l'espace.

Cette hypothèse est ici une première fois explorée empiriquement par l'administration sur le terrain d'une grille d'enquête (Annexe 1) ayant pour enjeu de permettre un recueil sous une forme structurée de la diversité des perceptions d'acteurs, à l'origine d'un pluralisme de régulation pour l'accès aux ressources. Le cadre théorique de la thèse, mobilisé à travers cette grille, propose de mettre en relation dynamique le concept de faisceau de droits (voir p.e. Le Bris et al. 1991, Schlager et Ostrom 1992, Mehta et al. 1999, Ribot et Peluso 2003, Colin 2004, Jacob 2007), et la théorie des maitrisés foncières (Le Roy 2002, Le Roy 2011) issus de l'anthropologie du foncier sahélien, avec le concept de socio-écosystème (Gallopín 1989, Berkes et Folke 1998 et 2003) issu de l'écologie. Ainsi les différentes sources de régulation foncière trouvent leur légitimité dans le temps et dans l'espace au travers des interactions qui s'établissent, en lien avec leurs perceptions spécifiques et diversifiées, entre usagers, cherchant à accéder et user des ressources foncières, et régulateurs⁴ de ces ressources foncières, autorisant ou non ces accès. Les usagers se retrouvent (ou non) à l'issue de ces différentes interactions avec, pour chaque type de ressource sollicitée, un certain niveau de droit foncier, qui leur donne un certain statut, une certaine maitrise foncière, pour une certaine durée...Une fois remplie, la grille est ainsi propre à chaque usager en fonction de ce qu'il mobilise pour garantir au mieux la sécurité de son accès aux ressources dans l'espace et dans le temps.

Le choix des deux zones d'étude sénégalaises où cette grille de recueil est expérimentée a pour volonté de représenter une diversité en terme d'enjeux, de tensions et d'usages qu'il est possible de faire de ces ressources. L'hypothèse de travail sous-jacente est de favoriser ainsi le recueil d'une grande diversité de perceptions possibles, en appréhendant différents contextes d'expressions de cette diversité de perceptions, du point de vue des usagers, et de la manière qu'ils ont de percevoir et user de leur environnement, comme du point de vue des régulateurs et des orientations qu'ils choisissent de prendre pour gérer les ressources de leur territoire. L'existence de tensions et de conflits sur les ressources dans ces différentes zones est ici considérée comme l'expression visible d'une confrontation de perceptions diversifiées ne trouvant pas dans ce cas de figure de terrain de coexistence et de complémentarité.

De la diversité des perceptions individuelles recueillies à cette première étape de recherche naît le modèle « orienté-acteurs » d'un pluralisme de régulation que l'on va voir apparaître à partir du chapitre 2. L'idée de centrer l'angle d'approche de la réflexion sur les acteurs et la diversité de leurs perceptions pour expliquer le pluralisme devient le point essentiel du questionnement. Si ce premier chapitre parle de différentes « formes » de régulation foncière mobilisées, le deuxième lui préfère le choix du terme « sources », traduisant l'idée que l'angle d'approche de la recherche devient celui des

⁴ L'approche étant centralisée sur les perceptions des acteurs, elle prend en compte toutes les règles foncières et instances régulatrices que les acteurs reconnaissent, qu'elles soient ou non légalement reconnues.

acteurs, et plus particulièrement des usagers. Les différents systèmes de régulation foncière sont ainsi considérés comme de simples « sources » de régulation, potentiellement mobilisables par un usager et donc pas automatiquement appliqués. Le terme de source traduit l'idée que les usagers puisent de façon partielle dans un ensemble de règles et d'instances régulatrices, sans impératif systémique : ce n'est pas parce qu'un usager décide à un instant *t* de mobiliser tel régulateur ou telle règle qu'il embrassera forcément l'intégralité du fonctionnement, et de la logique, du système qui lui sont associés.

A ce stade de conceptualisation de cette réalité complexe se pose la question de la dynamique qui rythme les choix de sources de régulation foncière mobilisées par les usagers. Quelles sont les conditions, les contextes, les critères qui motivent les acteurs à opter pour telle ou telle source de régulation d'accès aux ressources (et potentiellement à mobiliser une nouvelle politique foncière) parmi les différentes sources existants dans leurs perceptions. Si ces premiers travaux théoriques et de terrain permettent d'apporter de premiers éclairages sur l'appréhension de la complexité que représente l'expression d'un pluralisme de régulation, la grille de recueil administrée lors des enquêtes de terrain se révèle être un outil méthodologique insuffisant ou inapproprié pour prendre en compte l'aspect dynamique de cette expression, en donnant une lecture trop « figée » de cette diversité, sous une forme approchant l'idée d'une typologie d'usagers et de leurs pratiques d'accès. Ce besoin de mise en dynamique a orienté la recherche vers une exploitation indirecte des résultats de cette grille de recueil dans ce chapitre 1 - avec l'objectif de contourner l'idée d'en extraire une typologie figée - et vers le choix d'un outil méthodologique complémentaire aux entretiens individuels, le jeu de rôles, permettant d'explorer le modèle « orienté-acteurs » de pluralisme de régulation à une échelle de mise en situation des acteurs (Mermet 1993, Ostrom et al. 1994, Piveteau 1995) et de mise en dynamique de la diversité de leurs perceptions individuelles en matière de régulation foncière.

4.2. Article 2 : Mise en dynamique de ce modèle « orienté-acteurs » par la simulation participative (via jeu de rôles)

Ce deuxième chapitre constitue une étape de la recherche où le modèle « orienté-acteurs » d'appréhension d'un pluralisme de régulation formalisé dans le chapitre 1 est ici mis en dynamique par une expérience de simulation participative, pour apporter des éléments de compréhension sur ce qui conditionne la dynamique d'expression d'un pluralisme de régulation. L'expérimentation a ici pour enjeu de tester les conditions de ces comportements locaux de mobilisation et d'usage de différentes sources de régulation foncière, quand les acteurs sont mis en situation dans une arène pouvant se rapprocher de leur(s) réalité(s) (ou en tout cas visant à leur permettre de la/les reproduire) (d'Aquino et al. 2003, Barreteau et al. 2003a, Daré 2005).

Le support et les règles de fonctionnement de base du jeu de rôles ainsi que l'équipe scientifique d'animation ici mobilisés pour la réalisation des ateliers de simulation participative s'inscrivent dans un plus large programme de recherche sur la gestion des ressources naturelles qui a pris place au Sénégal entre 2010 et 2015, et qui portait notamment sur la mise en place d'un processus de modélisation d'accompagnement pour concevoir les politiques foncières (d'Aquino et Bah 2013a, 2013b, 2014). Les scénarios introduits ont quant à eux été réfléchis et conçus par et pour les besoins de la présente recherche.

Ces scénarios introduisent à ce stade de la recherche le besoin de comprendre le passé foncier des différents contextes sénégalais rencontrés. Les différentes sources « exogènes » (au contexte de régulation d'origine) de régulation foncière progressivement introduites dans le jeu caractérisent différentes politiques foncières qui ont pu être mise en place au Sénégal, dans différents contextes d'introduction. L'expérience cherche à comprendre comment ces changements de régulation foncière ont pu entraîner des changements de perceptions des usagers sénégalais, et être en conséquence (ou non) assimilés dans leurs pratiques foncières « endogènes » initialement en cours. La diversité de résultats obtenue dans les deux ateliers réalisés dans les mêmes deux zones rurales que celles étudiées dans le chapitre 1 semble mettre en lumière la diversité de perceptions existant par ailleurs dans les réalités des acteurs de ces différents contextes.

Les résultats de l'expérimentation du jeu de rôles mettent également en lumière l'interdépendance existant entre les différents acteurs, à travers l'explicitation d'une « logique d'imitation » dans leurs choix de pratiques de mobilisation de sources de régulation, liée à ce qui était déjà perçu et introduit dans le chapitre 1 comme une « sécurisation de l'activité par la reconnaissance du collectif communautaire ». Dans ce chapitre, l'usage d'une simulation participative via jeu de rôles permet au modèle « orienté-acteurs » d'un pluralisme de régulation d'évoluer d'une représentation illustrative « figée », axée sur les résultats (chapitre 1), vers une représentation compréhensive dynamique, axée sur les processus. Le besoin de sécurité foncière liant l'utilisateur à ses choix de sources de régulation foncière devient un sentiment (Le Roy 1999), une perception dynamique et évolutive au gré des contextes, là où cette sécurité foncière est plutôt caractérisée dans le chapitre 1 par les moyens (marquage spatial, prix d'accès, accord écrit via « papier »...) mis en œuvre par les différents usagers pour sécuriser leur accès aux ressources.

Tous ces moyens explicités dans le chapitre 1 pour sécuriser leurs accès aux ressources peuvent être considérés comme la résultante de processus d'interactions (réussies) des usagers entre eux, et/ou avec les régulateurs, à propos de ces ressources. A ce stade de conceptualisation, la recherche va sortir d'une approche axée sur les résultats de l'interaction pour progressivement s'intéresser à la nature du processus d'interaction lui-même. A ce propos, si l'expérimentation du jeu de rôles ici réalisée apporte des éléments de compréhension sur les critères et contextes pouvant amener les usagers sahéliens à entrer en interaction avec différentes sources de régulation foncière, elle fait le choix d'orienter l'expression d'une diversité de perceptions au niveau des acteurs usagers, les régulateurs n'existant pas en tant que joueurs dans l'expérimentation. Leurs actions sont en effet directement représentées par les résultats de processus d'interactions (réussis) et l'apparition de nouvelles activités rurales, de certificats fonciers et/ou de titres fonciers dans le déroulement du jeu.

Or les régulateurs et la diversité de leurs propres perceptions influant sur les résultats de ces processus d'interactions, ils prennent ici toute leur importance en tant qu'acteurs de ce modèle « orienté-acteurs ». Le besoin de prendre en compte ces acteurs régulateurs dans leurs processus d'interactions avec les usagers, et d'élargir l'échelle d'appréhension dynamique d'un pluralisme de régulation a orienté la recherche vers un troisième outil méthodologique complémentaire aux deux premiers, les systèmes multi-agents, permettant de représenter et de mettre en dynamique la pluralité et l'incertitude des interactions (résultant d'une diversité de perceptions) à des échelles de temps et d'espace plus ouvertes.

4.3. Article 3 : Formalisation par un système multi-agents du modèle « orienté-acteurs » de pluralisme de régulation foncière

Sur la base des apports théoriques et empiriques des deux chapitres précédents, ce troisième chapitre formalise un modèle « orienté-acteurs » de pluralisme de régulation foncière sous la forme d'un système multi-agents, afin de pouvoir le simuler et ainsi l'explorer dans le temps. Le système multi-agents développé simule ainsi les processus décisionnels (logiques d'action) diversifiés de différents acteurs hétérogènes (usagers et régulateurs) du foncier, aux perceptions diversifiées, lorsqu'ils interagissent à propos du besoin d'accéder (ou d'autoriser/refuser l'accès) aux ressources naturelles de leur environnement sahélien (Annexe 2⁵).

Le modèle « orienté-acteurs » d'un pluralisme de régulation est dans ce nouveau chapitre de nouveau formalisé, évoluant d'une appréhension illustrative (chapitre 1) puis dynamique (chapitre 2) de la diversité des logiques individuelles des usagers à l'échelle locale des deux zones rurales étudiées, vers une appréhension illustrative et dynamique des interactions entre logiques individuelles des usagers et logiques individuelles des régulateurs à l'échelle d'analyse d'un territoire sahélien. L'enjeu de la démarche est ici de conserver dans le processus de simplification de la complexité du réel - lié à l'exercice de modélisation - l'essence de ce qui permet une lecture compréhensive de cette complexité que représente l'expression d'un pluralisme de régulation, à savoir l'incertitude, le dynamisme, la flexibilité, l'interdépendance et la pluralité.

Par les choix de modélisation qu'il réalise (Epstein 2008), le modélisateur devient à ce stade de la recherche lui aussi un acteur de ce modèle « orienté-acteurs » de pluralisme de régulation foncière. L'enjeu de la démarche de formalisation du modèle « orienté-acteurs » de pluralisme de régulation foncière en système multi-agents est donc ici de permettre l'expression d'une pluralité de perceptions également au niveau des utilisateurs du modèle multi-agents, en leur permettant de moduler l'usage qu'ils feront de ce modèle, et la manière qu'ils choisiront d'explorer le pluralisme de régulation sahélien. La démarche fait donc en sorte de rendre au possible indépendant et interchangeable l'ensemble des relations entités-processus décisionnels constituant le système multi-agents (indépendance entre agents usagers et agents régulateurs, indépendance entre agents régulateurs et leurs différentes logiques de régulation possibles, indépendance entre ces logiques de régulation possibles et les caractéristiques des droits d'accès distribués, indépendance entre agents usagers et leurs différentes logiques de choix d'activités rurales et de mobilisation de sources de régulation foncière possibles, etc.).

Le modèle « orienté-acteurs » d'un pluralisme de régulation évolue dans ce chapitre vers une approche permettant de penser le pluralisme de manière plurielle (Le Roy 1999, 2013). En effet, « le » pluralisme en tant que tel n'existe pas, il est lui-même pluriel. A notre échelle « d'observateur extérieur » (et notamment de modélisateur), on peut être tenté d'avoir une vision globale (liée à notre propre perception d'observateur) essayant de décrire un ensemble exhaustif de règles foncières auquel l'ensemble des individus auraient « théoriquement » tous accès, et que l'on nommerait pluralisme de régulation, mais à l'échelle de chaque individu, cette vision globale, et « figée » n'existe pas. Le concept de pluralisme de régulation est ainsi lui-même pluriel, et

⁵ Ressource également publiée et disponible sur ResearchGate en tant que « Données Supplémentaires » aux articles 3 et 4. DOI : 10.13140/RG.2.1.1121.8400

dynamique, en fonction de l'échelle spatiale et temporelle où l'on décide de l'observer. En fonction de leurs perceptions respectives, les acteurs locaux se constituent leur propre portefeuille, ou « puzzle de fonctionnement » respectif en allant puiser les pièces de ce puzzle dans les différentes sources de régulation foncière qu'ils perçoivent exister. Ce puzzle évolue dans le temps, au fil des expériences vécues et des interactions sociales locales, qui font évoluer la légitimité de telle ou telle source de régulation, ou plutôt de telle ou telle façon d'extraire une règle d'un système de régulation. C'est de l'assemblage de ces différents puzzles à une échelle spatiale et temporelle donnée que résulte « le » pluralisme de régulation foncière que l'on appréhende à notre échelle d'observateur extérieur.

Les premiers scénarios de simulation explorés dans ce chapitre montrent à travers un nouvel angle d'approche (celui des interactions usagers-régulateurs) et un nouvel outil méthodologique (la simulation multi-agents) que la diversité de perceptions des acteurs sahéliens (usagers et régulateurs) quand ils interagissent pour l'accès aux ressources foncières est l'essence de l'expression « orienté-acteurs » d'un pluralisme de régulation. Ce pluralisme est observé à l'échelle d'un territoire sahélien par le modélisateur (i.e. l'observateur extérieur) comme la résultante globale de l'assemblage d'une diversité de perceptions et de pratiques foncières d'acteurs dans le temps et l'espace. Les résultats de ces différents scénarios de simulation s'accordent pour montrer que la pluralité, des perceptions des agents, mais également des milieux naturels, de la répartition des ressources disponibles, de pluviométrie, des droits d'accès aux ressources...participe à créer le pluralisme sahélien. Et que chaque fois que l'on essaie de réduire cette pluralité, en rendant homogène et uniforme ces différentes composantes constituant le socle des interactions hommes-sociétés-ressources au Sahel, cela impacte significativement l'expression d'un pluralisme de régulation.

Les résultats de ces différents scénarios mettent enfin également en lumière que la diversité de perceptions des acteurs sahéliens (usagers et régulateurs) influe significativement sur le processus d'intégration et d'application pratique d'une nouvelle régulation foncière dans un environnement sahélien, au regard de la manière dont les acteurs perçoivent cette nouvelle régulation foncière, et la mobilisent ou non dans leurs interactions pour l'accès aux ressources. C'est ce dernier point que le dernier chapitre de ce travail de thèse propose d'explorer de manière plus approfondie, en faisant dialoguer cette diversité de perceptions d'acteurs avec différents scénarios d'introduction de nouvelle politique foncière dans un environnement sahélien.

Les trois premiers chapitres de ce travail de thèse ont ainsi permis d'expérimenter différentes approches de formalisation et mise en dynamique d'un modèle permettant d'appréhender le pluralisme de régulation sous l'angle d'approche de la diversité des perceptions d'acteurs qui participent à le définir. En lien et suite directe des premiers résultats de simulation développés dans ce troisième chapitre, le quatrième et dernier chapitre de la thèse propose de mettre en dynamique ce modèle « orienté-acteurs » de pluralisme de régulation ici formalisé en système multi-agents, afin d'explorer plus particulièrement la stabilité de son expression dans le temps à l'échelle d'observation d'un territoire sahélien, au regard des enjeux de réformes foncières passées et actuellement en cours dans différents pays d'Afrique sahélienne, et plus particulièrement au Sénégal pour la présente recherche.

4.4. Article 4 : Mise en dynamique dans le temps de ce modèle « orienté-acteurs » par la simulation multi-agents

En fonction de la manière qu'ils ont de les percevoir et de les légitimer ou non dans leurs pratiques d'accès aux ressources, les politiques foncières présentes et passées de l'État peuvent modifier les différents puzzles de fonctionnement des usagers sahéliens en y ajoutant de nouvelles sources potentielles de régulation. Les scénarios de simulation expérimentés dans ce chapitre ont pour enjeu d'explorer si, et si oui comment, l'introduction d'une nouvelle régulation foncière peut modifier la stabilité d'expression « orienté-acteurs » d'un pluralisme de régulation. Les scénarios s'inspirent dans leurs principes de différentes réalités d'introduction de politiques foncières qui ont pu prendre place dans l'histoire foncière du Sénégal. En cherchant par quel(s) processus les politiques foncières mises en place depuis les indépendances ont été (ou non) intégrées dans les pratiques des populations sahéliennes, ce dernier chapitre de thèse propose des éléments de compréhension sur les orientations possibles que pourront prendre les réformes foncières de demain, en fonction de la manière dont elles seront introduites sur le terrain et perçues (ou non) en conséquence par les acteurs concernés par ces futures réformes. Ce quatrième chapitre développe donc une forme d'usage qui peut être fait du système multi-agents de formalisation « orienté-acteurs » d'un pluralisme de régulation, en choisissant d'explorer, à travers différents scénarios de simulation, les processus d'intégration d'une nouvelle politique foncière dans l'ensemble de sources de régulation que perçoit un acteur sahélien, en fonction des caractéristiques d'introduction de cette nouvelle régulation.

A ce propos, au Sénégal, la gestion foncière repose officiellement sur la loi n° 64-46 du 17 juin 1964, relative au Domaine national. L'État détient les terres du domaine national « *en vue d'assurer leur utilisation et leur mise en valeur rationnelles, conformément aux plans de développement et aux programmes d'aménagement* ». Sur cette base, l'Etat peut, en justifiant au préalable d'un intérêt public, mobiliser à tout moment des terres du Domaine National et les céder par le biais de titres fonciers à divers projets, notamment d'investissements fonciers. Par ailleurs, depuis 1972 et l'initiation du processus de décentralisation, la gérance des terres du Domaine National est officiellement laissée aux collectivités locales de base, à savoir les conseils ruraux pour les communautés rurales. Les nouvelles politiques foncières introduites dans la simulation peuvent donc être administrées par différentes natures d'instances régulatrices : un état centralisé régulant l'ensemble du territoire sahélien suivant une unique logique de distribution des droits fonciers, ou des collectivités locales régulant différentes portions du territoire sahélien suivant leurs respectives logiques de distribution diversifiées.

Par ailleurs, les précédents chapitres ont permis de mettre en lumière l'interdépendance existant entre les différents acteurs et l'importance de la recherche de légitimité (Golan 1994, Le Roy 1999, Rouchier 2000, Lavigne Delville 2007) dans leurs choix de pratiques de mobilisation de sources de régulation foncière, à travers l'explicitation d'une « logique d'imitation » (chapitre 2) pour une « sécurisation de l'activité par la reconnaissance du collectif communautaire » (chapitre 1). Ce principe d'imitation pour une reconnaissance par les pairs peut notamment expliquer pourquoi dans les contextes où le fait de sécuriser son activité par l'obtention d'un « papier » est installé dans la réalité des pratiques, cela fait sens pour les usagers et qu'ils mobilisent cette source de régulation foncière en conséquence, là où dans d'autres contextes, cette sécurisation peut encore se faire sur la

base de réalités foncières exclusivement « traditionnelles ». L'hypothèse formulée ici pour l'élaboration des scénarios de simulation est donc qu'une nouvelle régulation foncière, administrée par un Etat central et/ou par des collectivités locales, sera perçue et envisagée par un usager uniquement si elle devient une pratique légitimée dans les pratiques d'accès aux ressources des autres usagers.

Les scénarios développés consistent donc à introduire dans la simulation multi-agents de nouvelles régulations foncières de manière « endogène », sur la base d'un certain nombre initial d'usagers ayant déjà intégré la nouvelle régulation foncière dans leurs pratiques au moment de son introduction. Ce nombre représente l'intensité d'introduction d'une nouvelle régulation. Les scénarios de simulation font également varier la distribution spatiale de cette intensité initiale d'introduction, en répartissant le nombre initial d'usagers ayant intégré la nouvelle régulation foncière soit de manière disséminée dans l'environnement, soit de manière regroupée, localisée à un même endroit de l'environnement. Quand ce nombre d'usagers est réparti de manière disséminée dans l'environnement, le scénario s'inspire de la manière qu'ont pu avoir les politiques foncières sénégalaises d'être introduites dans tout le pays en laissant le choix aux usagers d'initier d'eux-mêmes les démarches d'immatriculation de leurs espaces pour convertir leurs droits fonciers traditionnels en document juridique légal. Quand ce nombre d'usagers est regroupé à un endroit localisé de l'environnement, le scénario s'inspire de la manière qu'ont pu avoir des projets de développement, ou les collectivités locales, d'introduire les politiques foncières auprès de groupements ciblés de la population sahélienne localisés dans certaines zones rurales à fort potentiel agro-économique, périmètres hydro-agricoles, villages, communautés locales...

Les nouvelles politiques foncières, administrées par un Etat central et/ou par des collectivités locales, sont donc introduites dans le modèle suivant différentes configurations (résultant du produit d'une intensité et d'une distribution spatiale), qui conservent les principes des scénarios du jeu de rôles expérimenté dans le chapitre 2. Ces scénarios de simulation multi-agents, développées dans les chapitres 3 et 4 y ajoutent en plus l'apport de la diversité de perceptions des régulateurs, existant cette fois en tant qu'agent qui oriente les processus d'interactions. Par ailleurs, dans le chapitre 2, la mise en dynamique du modèle par une simulation participative apportait de premiers éléments de résultats en terme de mobilisation d'une nouvelle régulation dans les pratiques foncières d'acteurs, qui pouvaient être rapprochés des réalités des différents contextes fonciers des participants. Ce présent chapitre a pour enjeu d'apporter des résultats complémentaires par la mise en dynamique du modèle par une simulation multi-agents, apportant cette fois des éléments de compréhension sur les processus de mobilisation d'une nouvelle régulation qui ont l'objectif de monter en généralité et qui ne sont pas directement reliés à une réalité historique, géographique ou sociale.

Les résultats des scénarios de simulation expérimentés dans ce quatrième chapitre apportent ainsi de nouveaux éléments au modèle « orienté-acteurs » d'un pluralisme de régulation, en nous permettant d'élargir notre échelle spatiale et temporelle d'analyse de la dynamique d'expression d'un pluralisme de régulation. Si le chapitre 1 illustrait la diversité des logiques d'action individuelles des usagers sahéliens, et le chapitre 2 leur mise en interaction dans des contextes locaux pouvant se rapprocher de leur(s) réalité(s), les chapitres 3 et 4 nous permettent de devenir cet « observateur extérieur » qui lit le pluralisme comme résultante de l'assemblage d'une diversité de logiques d'action individuelles mises en interaction, entre elles et avec celles des régulateurs, à l'échelle spatiale englobante d'un territoire sahélien et de plus dynamique dans le temps.

Le choix de cette nouvelle échelle d'observation met en lumière que la diversité des perceptions individuelles mises en interaction à l'échelle locale crée des formes de régularité et des phénomènes à l'échelle englobante d'un territoire sahélien. En effet les acteurs, en faisant vivre les règles en fonction de comment ils les comprennent et les interprètent collectivement, produisent une connaissance commune, des principes communs (Ostrom 1990 et 2010, Chauveau 1994, Lavigne Delville et Hochet 2005) et des institutions⁶ qui ont pour espace d'expression la globalité du territoire sahélien.

Ainsi la « sécurisation de l'activité par la reconnaissance du collectif communautaire » présentée comme une des sources de sécurisation foncière possibles des usagers dans le chapitre 1, qui se retrouve dans « la logique d'imitation » du chapitre 2, associant la perception (et le choix) de sécurité foncière en partie à ce qui est reconnu par les autres - car cette reconnaissance assure à l'utilisateur une non-contestation de ses droits fonciers - est exprimée dans ce nouveau chapitre par l'observation de différentes tendances de mobilisation des nouvelles régulations foncières introduites, en fonction de la manière dont les usagers vont collectivement percevoir ces nouvelles régulations et les légitimer (ou non) dans leurs pratiques foncières. Ce nouvel angle d'approche, permis par la simulation multi-agents, vient compléter l'appréhension « orienté-acteurs » d'un pluralisme de régulation en observant le poids de l'influence sociale et de l'interdépendance des acteurs dans la création de valeurs communes (ici considérées comme la légitimation d'une nouvelle régulation foncière).

Ainsi, on peut considérer l'ensemble de sources de régulation que chaque individu se crée et considère potentiellement mobilisable comme un puzzle, ou autrement dit comme un portefeuille de règles foncières, qu'il se constitue progressivement et fait évoluer au fil des interactions sociales. Ce processus individuel, spécifique à chaque usager, est donc dynamique dans le temps et l'espace. Les résultats des scénarios de simulation expérimentés dans ce chapitre renforcent l'hypothèse que l'assemblage de cette diversité de portefeuilles individuels produit un certain nombre de valeurs communes, qui cadrent et influent en retour les choix de sources de régulation foncière mobilisées par les usagers.

Ainsi, la diversité des perceptions d'acteurs quand ils interagissent pour accéder aux ressources naturelles est l'essence qui fait émerger ce pluralisme de régulation, qui lui-même influence en retour ce que les acteurs perçoivent comme sources mobilisables, donc acceptables socialement. La connaissance commune qui émerge à l'échelle d'un territoire est plus que la somme des perceptions individuelles des différents acteurs (Epstein et Axtell 1996). Chaque usager est influencé dans ses choix par cette connaissance commune, et en retour ses choix individuels contribuent à faire évoluer cette connaissance commune, sans déterminisme dans un sens ou dans l'autre (Veblen 1898, Boyer 1995, Dulong 2012), mais dans une relation interactive.

4.5. Synthèse : une grille de lecture possible du concept de pluralisme sahélien

A travers le dialogue permanent entre différents concepts, outils méthodologiques, travaux de terrain au Sénégal, angles d'approche et échelles d'analyse de la réflexion menée, le travail de thèse ici présenté sous la forme de quatre articles propose donc un modèle « orienté-acteurs » de pluralisme de régulation foncière (Figure 1), qui représente une grille de lecture, une vision possible,

⁶ Au sens « *habitudes de comportement et de pensées qui sont partagées par un groupe* » (Veblen 1899, Commons 1931, Ostrom 2005).

du concept de pluralisme sahélien, à travers l'expression de la pluralité des perceptions d'acteurs qui participent à le définir.

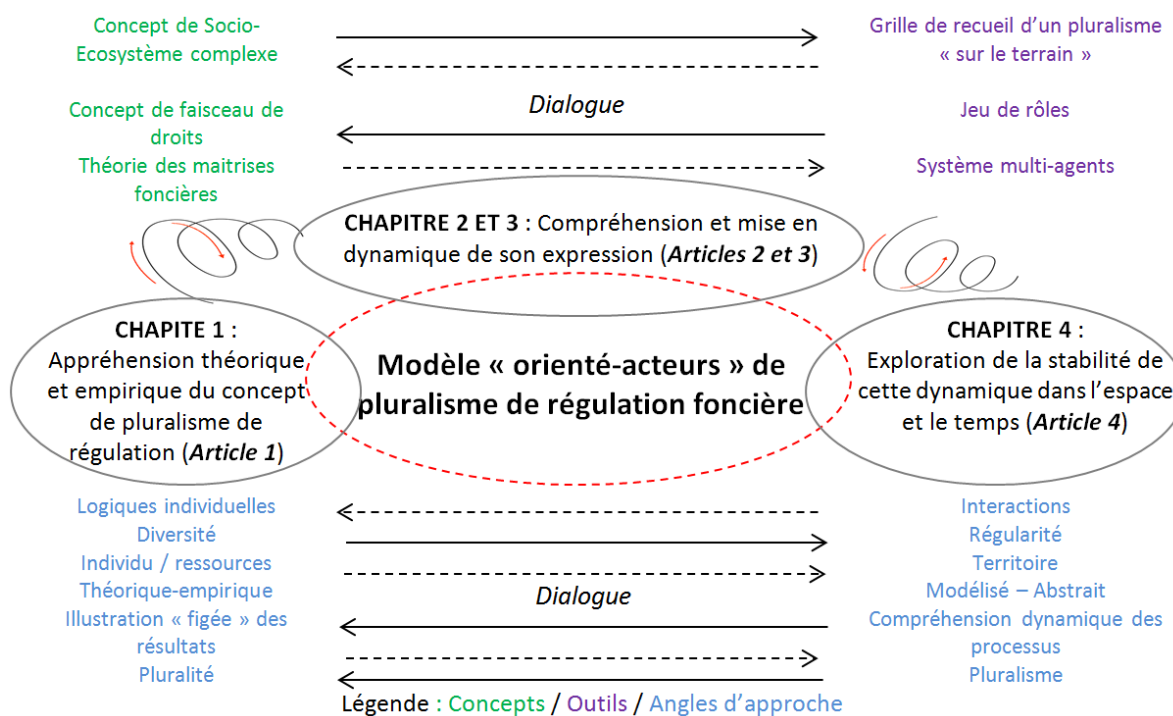


Figure 1: Organisation et produit du travail de recherche

J'ai choisi de présenter cette thèse sous un format d'articles car malgré les redondances que le lecteur pourra trouver en parcourant ces différents articles, leur mise en cohérence permet de retracer l'évolution du travail (et de la réflexion) de recherche que l'on vient d'explicitier dans ce chapitre introductif. Les articles 1 et 2 sont des articles en français soumis aux revues scientifiques *Espaces et Sociétés* (article 1, sous examen) et *Economie Rurale* (article 2, accepté pour publication). Un article adapté de l'article 2 existe également en anglais, et a été soumis à la revue scientifique *Simulation & Gaming* (Annexe 3, sous examen). Enfin, les articles 3 et 4 sont des articles en anglais soumis ou en cours de soumission aux revues scientifiques *Land Use Policy* (article 3, sous examen) et *Ecological Economics* (article 4, en cours de soumission).

L'exercice de thèse étant lui-même un processus dynamique, l'évolution du choix des termes utilisés se retrouve également au fil des articles. Le pluralisme est un objet d'étude complexe, les angles d'approche, outils et échelles d'observation que l'on choisit pour l'étudier conditionnent donc le choix des termes que l'on décide d'employer. Ces choix font ici aussi appel à une pluralité de termes employés au cours de l'exercice de thèse, auquel un lexique (Annexe 4) a pour enjeu de donner une cohérence.

Chapitre 1 : La diversité des perceptions d'acteurs comme essence d'un pluralisme de régulation foncière au Sahel rural

Ce chapitre est adapté de l'article de revue :

Papazian H., d'Aquino P., (2015). La diversité des perceptions d'acteurs comme essence d'un pluralisme de régulation foncière au Sahel rural, *Espaces et Sociétés*, (sous examen).

Synthèse

En Afrique sahélienne, la situation foncière se caractérise par l'imbrication de normes et d'instances en matière de régulation foncière, reposant à la fois sur des pratiques locales informelles (mais reconnues par les populations) et sur un droit foncier légal où l'essentiel du territoire demeure au sein de l'État. Si ce pluralisme en matière de régulation foncière persiste, c'est parce qu'il continue de faire sens pour les acteurs qui le définissent et le pratiquent. Pour appuyer cette hypothèse, ce premier chapitre propose un cadre conceptuel permettant de recueillir et de structurer la diversité des perceptions d'acteurs à l'origine d'un pluralisme de régulation pour l'accès aux ressources, et développe les résultats issus d'une mise à l'épreuve de ce cadre conceptuel, avec des travaux de terrain au Sénégal.

Le cadre conceptuel permettant de recueillir et de structurer la diversité des perceptions d'acteurs pour l'accès au foncier rural puise ses principes d'une synthèse bibliographique croisant anthropologie du foncier sahélien et concept de « socio-écosystème » (SES). Il propose donc d'appréhender la diversité des perceptions (et logiques d'action en conséquence) d'acteurs, à l'origine d'un pluralisme de régulation foncière, par l'analyse des interactions, à propos du besoin d'accéder aux ressources, des acteurs (usagers et instances régulatrices) entre eux et avec leur environnement, au sein d'un socio-écosystème donné. Le cadre conceptuel développé est ici mis à l'épreuve au travers d'études de cas dans un pays sahélien cristallisant cette problématique de pluralisme de régulation foncière : le Sénégal. Les deux socio-écosystèmes considérés pour l'analyse des interactions pour l'accès au foncier rural sont (i) la zone sylvo-pastorale du Ferlo et (ii) la zone du lac de Guiers, dans la partie irriguée de la vallée du fleuve Sénégal.

Le choix de ces deux zones a pour enjeu de permettre l'expression (et le recueil) d'une diversité de perceptions, résultant de la diversité nationale en terme d'enjeux, de tensions et d'usages qu'il est possible de faire de ces ressources foncières dans ces différents contextes. Pour ces deux études de cas, les différentes perceptions sont appréhendées à partir de méthodes d'enquête de sociologie qualitative : entretiens semi-directifs et histoires de vie. Ces enquêtes ont pour premier objectif de donner une lecture globale des différentes formes de régulation mobilisées par chaque acteur à un instant t, en fonction de la nature et des caractéristiques de la ressource dont il cherche à sécuriser l'accès. Elles ont également pour objectif de permettre le recueil des logiques d'action orientant les processus de négociation de ces différents accès aux ressources, par le recueil des logiques de mobilisation des instances régulatrices par les usagers, et des logiques de distribution par ces instances régulatrices de droits d'accès aux ressources aux différents usagers.

Les résultats mettent en avant que la dynamique d'expression d'un pluralisme de régulation foncière est liée au fait qu'une pluralité d'usagers réalisent des choix multiples d'activité rurale (plusieurs types d'agriculture combinés avec plusieurs types d'élevage, avec des activités de cueillette, de commerce qui nécessitent des déplacements saisonniers etc.), pouvant conditionner un besoin pluriel en ressources (terre, pâturages, produits forestiers non ligneux, bois, eau...) dans l'espace et dans le temps. Ces usagers cherchent donc à sécuriser leur accès auxdites ressources en mobilisant, selon leur perception spécifique et les contextes rencontrés, différentes règles et instances régulatrices, et donc différentes formes de régulation foncière. Les différentes instances régulatrices mobilisées ont-elles-mêmes leurs perceptions spécifiques sur la manière de réguler l'accès aux ressources foncières, et priorisent en conséquence différents objectifs (économiques, sociaux, environnementaux, personnels...) dans leurs logiques de gestion. En fonction de ces logiques, les usagers se retrouvent donc (ou non) à l'issue de ces différentes interactions avec, pour chaque type de ressource sollicitée, un certain niveau de droit foncier, qui leur donne un certain statut, une certaine maîtrise foncière, pour une certaine durée.

Ces différents droits fonciers constituent le portefeuille spécifique de règles foncières de chaque usager sahélien, amené à évoluer dans le temps en fonction de différents facteurs influents, internes à chaque usager et également externes, résultant de leurs interactions avec la diversité de perceptions (elles-mêmes évolutives) des différentes instances régulatrices et avec celle des autres usagers dans différents contextes d'accès aux ressources foncières.

Une politique foncière est donc considérée ici comme l'une des formes de régulation potentielles liant l'usager à ses logiques d'action. Ce n'est finalement pas tant que les lois officielles ne sont pas effectives en pratique mais plutôt qu'elles sont interprétées et utilisées selon le besoin et les perceptions au travers des logiques d'action des différents acteurs. Au regard de ce qu'ils mobilisent, créent, et interprètent en conséquence, les acteurs (usagers comme instances régulatrices) donnent sens à une pluralité de formes de régulation et sont l'essence même de ce qui constitue le pluralisme de régulation foncière, dynamique, qui persiste dans le temps, au Sénégal comme dans d'autres pays d'Afrique sahélienne.

1. Introduction

En Afrique sahélienne, la situation foncière se caractérise par l'imbrication de normes et d'instances en matière de régulation foncière, reposant à la fois sur des pratiques locales informelles (mais reconnues par les populations) et sur un droit foncier légal où l'essentiel du territoire demeure au sein de l'État (Le Bris et al. 1991, Le Roy et al. 1996). Les politiques foncières mises en place à partir des années 1960, souvent basées sur une volonté de généralisation de l'appropriation foncière individuelle, ont été de conception trop étrangère au contexte local pour parvenir à effacer les autres formes de droits sur la terre. Le pluralisme de régulation (Le Roy 1996, Platteau 1996, Lavigne Delville et al. 1998, Chauveau, Le Pape et Olivier de Sardan 2001, Jacob 2007) résultant de cette situation complexe est certes informel⁷, mais n'en est pas moins persistant, s'adaptant dans le temps à différentes influences (les politiques publiques étant l'une d'entre elles) et chocs externes (comme les grandes sécheresses de 1972 et 1982).

Ces autres formes de droits, qui ont jusqu'à présent survécu aux différentes initiatives de politiques foncières, ont été mises en place au fil des siècles par les populations sahéliennes, sur la base d'arrangements progressivement construits, produisant des règles locales d'usage et de gestion de l'espace qui permettent de minimiser l'incertitude sur la rareté et l'imprévisibilité des ressources (Ellis et al. 1988, Thébaud 1990). Ces règles sont caractérisées par une grande mobilité des populations des zones sahéliennes pour tirer parti de l'extrême variabilité sahélienne (Gallais 1977, Behnke et Scoones 1992), couplée à une gestion profondément communautaire, construite sur la notion de commun au sens « *intermédiaire résultant de la constante balance entre intérêts individuels et collectifs* » (Le Roy 2011), ayant pour objectif de permettre à un maximum de gens d'avoir accès à ces ressources (Berkes et al. 1989, Ostrom 1990).

Si ce pluralisme en matière de régulation foncière persiste, c'est aussi parce qu'il continue de faire sens pour les acteurs qui le définissent. « *Le pluralisme des normes est la règle, et non l'exception* » (Chauveau, Le Pape et Olivier de Sardan 2001), et « *le droit n'est pas tant ce qu'en disent les normes écrites que ce qu'en font les acteurs* » (Le Roy 2011) qui, au regard de leurs perceptions spécifiques et de ce qu'ils mobilisent, créent, et interprètent en conséquence, donnent sens à une pluralité de formes de régulation⁸, permettant de mettre en œuvre une flexibilité dans le choix de régulations mobilisées.

Précisons ici que le concept de pluralisme de régulation englobe toute forme de régulation (règles et instances) participant au fonctionnement des systèmes fonciers depuis l'accès aux ressources jusqu'aux mécanismes de contrôle et de sanctions. Le format de la recherche rendant nécessaire une certaine restriction du champ d'analyse, cette dernière concentre l'analyse sur les formes de régulation existant plus particulièrement à propos de l'accès au foncier rural.

A ce propos, le présent article propose un cadre théorique qui permet de recueillir et de structurer la diversité des perceptions d'acteurs à l'origine d'un pluralisme de régulation pour l'accès au foncier

⁷ Informel au sens de ce qui ne relève pas de l'officiel, donc du droit positif reconnu par l'Etat. Le pluralisme constaté ici ne se limite pas à une approche dualiste formel/informel, c'est un concept beaucoup plus large, les pratiques locales informelles faisant elles-mêmes appel à une pluralité de règles, d'instances (et donc de sources de droits) possibles (Le Roy 1991).

⁸ L'approche étant centralisée sur les perceptions des acteurs, elle prend en compte toutes les formes de régulation foncière que les acteurs reconnaissent, qu'elles soient ou non légalement reconnues.

rural, et développe les résultats issus d'une mise à l'épreuve de ce cadre théorique, avec des travaux de terrain dans un pays d'Afrique sahélienne où cette problématique de pluralisme de régulation est mise en exergue, à savoir le Sénégal.

2. Cadre théorique

Le cadre théorique permettant de recueillir et de structurer la diversité des perceptions d'acteurs pour l'accès au foncier rural puise ses principes d'une synthèse bibliographique croisant anthropologie du foncier sahélien et concept de « socio-écosystème » (SES).

La diversité des perceptions d'acteurs à l'origine du pluralisme de régulation foncière observé s'exprime au travers de leur besoin d'accéder aux ressources. Ce besoin fait entrer les acteurs en interaction entre eux (pour négocier cet accès aux ressources) et avec leur environnement (composé de ces différentes ressources). Les systèmes que l'on peut considérer pour cette analyse sont donc ici vu comme des socio-écosystèmes (Gallopín 1989, Berkes et Folke 2003), les différentes formes de régulation foncière opérant au travers des interactions qui s'établissent entre les dynamiques sociales et les dynamiques écologiques à propos du besoin d'accéder (et de sécuriser son accès) aux différentes ressources. Ces interactions sont par ailleurs définies par Edgar Morin (1977, p.51) comme « *des actions réciproques modifiant le comportement ou la nature des éléments, corps, objets, phénomènes en présence ou en influence* ». Cette définition souligne la notion de dynamisme spatial et temporel qui structure et conditionne aussi le pluralisme de régulation observé. Les règles locales opérant dans le Sahel sont en effets souples et dynamiques dans le temps (Bernus et Boutrais 1994, Le Roy et al. 1996, d'Aquino 1998), appuyant ainsi mieux un multi- usages dont la nature évolue en fonction des contextes locaux, de la période de l'année, du type de pluviométrie annuelle etc., mais aussi en fonction de l'évolution des interactions au sein d'un socio-écosystème donné.

Pour tenter de structurer les différentes perceptions d'acteurs caractérisant ce pluralisme de régulation, la présente recherche se base sur la dualité introduite par le concept de faisceaux de droits - comprenant droits opérationnels (d'utilisation des ressources) et droits d'administration (de régulation des ressources) - en travaillant sur deux grands « niveaux » de perceptions, à savoir:

- Les logiques possibles de répartition des droits d'accès aux ressources, par les instances régulatrices désignées ;
- Les logiques possibles de choix d'accès et d'exploitation des ressources (pour lesquelles des droits ont été obtenus), par les usagers.

Le concept de faisceau de droits traduit le fait qu'il n'existe pas un droit sur la terre, mais des droits (d'user, d'administrer, de transférer, etc.), sur différents objets (terre, arbre, pâturages, produits forestiers non ligneux...), susceptibles d'être revendiqués par différents individus (individuels ou collectifs) et sous le contrôle d'instances variées (chef de famille, instance coutumière, instance étatique...) (Le Bris et al. 1991, Schlager et Ostrom 1992, Weber et Reveret 1993, Mehta et al. 1999, Ribot et Peluso 2003, Colin 2004, Jacob 2007,...).

Ce concept ici couplé à la théorie des maîtrises foncières (Le Roy 1996, 2011) sont des supports centraux mobilisés ici pour rendre compte de la pluralité des situations observées. Ainsi une pluralité d'usagers, réalisant des choix d'activité(s) rurale(s) (plusieurs types d'agriculture combinés avec

plusieurs types d'élevage, avec des activités de cueillette, de commerce qui nécessitent des déplacements saisonniers etc.), pouvant conditionner un besoin pluriel en ressources (terre, pâturages, produits forestiers non ligneux, bois, eau...) dans l'espace et dans le temps cherchent à sécuriser leur accès auxdites ressources en mobilisant, selon leur perception spécifique et les contextes rencontrés, différentes règles et instances régulatrices, et donc différentes formes de régulation foncière. En fonction des logiques des différentes instances régulatrices mobilisées, les usagers se retrouvent (ou non) à l'issue de ces différentes interactions avec, pour chaque type de ressource sollicitée, un certain niveau de droit foncier, qui leur donne un certain statut, une certaine maîtrise foncière (Ostrom et Schlager, 1992, Le Roy 1996, 2011), pour une certaine durée...

Le cadre théorique ici développé propose donc d'appréhender la diversité des perceptions (et logiques d'action en conséquence) d'acteurs, à l'origine d'un pluralisme de régulation foncière, par l'analyse des interactions (à propos du besoin d'accéder aux ressources) des acteurs entre eux (usagers, instances régulatrices) et avec leur environnement, au sein d'un socio-système donné.

3. Terrain d'étude

Le cadre théorique développé ci-dessus a été mis à l'épreuve au travers d'études de cas dans un pays sahélien cristallisant cette problématique de pluralisme de régulation foncière : le Sénégal. La loi foncière opérant officiellement depuis les indépendances est la loi n° 64-46 du 17 juin 1964, relative au Domaine national. Elle ne reconnaît officiellement pas les droits dits « coutumiers », antérieurs à sa mise en place, et les ressources qu'ils peuvent concerner ont été directement intégrées dans ce qui compose aujourd'hui le Domaine national.

Les deux socio-écosystèmes considérés pour l'analyse des interactions pour l'accès au foncier rural se veulent représentatifs de la diversité nationale en terme d'enjeux, de tensions et d'usages qu'il est possible de faire de cette ressource :

D'une part, la zone sylvo-pastorale du Ferlo localisée au centre de la zone sahélienne, au Nord-Est du Sénégal où la population pratique essentiellement l'élevage transhumant, couplé à des activités de cultures pluviales pendant l'hivernage, et de cueillette tout au long de l'année. Cette réserve sylvo-pastorale concentre la plus grande partie des espaces de pâturage du pays, et a bénéficiée depuis les indépendances de projets de mise en place de grands forages pour l'abreuvement des troupeaux, donc de nombreux transhumants saisonniers viennent cycliquement s'ajouter à la population résidente. En dehors des conflits à propos de la ressource en eau, quantitativement insuffisante pour subvenir aux besoins des résidents et des transhumants, et ceux concernant l'avancée du front arachidier réduisant petit à petit l'espace disponible à l'élevage, les tensions foncières sont encore relativement absentes de cette zone.

D'autre part, la zone autour du Lac de Guiers dans la partie Nord-Ouest de la vallée du fleuve Sénégal qui est quant à elle au cœur de grandes tensions foncières. Les terres aux abords directs du lac sont facilement irrigables et les populations locales y développent une petite agriculture irriguée depuis les années 1990. Depuis 2008, ces mêmes terres sont également convoitées par des investisseurs ayant les moyens de mettre plusieurs milliers d'hectares en valeur, et certains projets de cette nature sont en cours d'implantation dans la zone. Par ailleurs, sur les terres exondées plus éloignées des abords directs du lac évoluent des populations d'éleveurs transhumants se rapprochant de celles de la zone sylvo-pastorale du Ferlo, le lac de Guiers représentant en effet une

source d'abreuvement non négligeable pour les troupeaux de la zone. Cette zone cristallise donc différentes formes de tensions que l'on peut observer à propos des ressources foncières : des conflits d'espace entre usagers autochtones de la zone (agriculteurs/éleveurs, agriculture pluviale/irriguée...) aux conflits entre autochtones et allochtones (résidents/non-résidents d'une communauté rurale, sénégalais/étrangers, petites agricultures familiales/ grands projets d'investissement fonciers...).

4. Méthodologie

Pour ces deux études de cas, les différentes perceptions ont été appréhendées à partir de méthodes d'enquête de sociologie qualitative (entretiens semi-directifs et histoires de vie) visant en fonction des profils usager/régulateur des différents enquêtés à (1) donner une lecture globale des différentes formes de régulation mobilisées par un acteur à un instant t, en fonction de la nature et des caractéristiques de la ressource dont il cherche à sécuriser l'accès et (2) mettre en avant les logiques d'action orientant les processus de négociation de cet accès aux ressources (logiques de mobilisation des instances régulatrices par les usagers, logiques de distribution par ces instances régulatrices de droits d'accès aux ressources aux différents usagers). 200 entretiens ont été réalisés entre mars 2011 et août 2013 dans les zones du Lac de Guiers et du Ferlo, avec une pluralité d'acteurs (agriculteurs, éleveurs, agro-éleveurs, allochtones, autochtones, femmes, jeunes, chefs de village, conseillers ruraux, administration sectorielle, ministres d'Etat...) avec pour objectif de recueillir une grande diversité de perceptions sur ce qu'englobe le concept de pluralisme de régulation foncière.

5. Résultats : structuration sur la base du cadre théorique de la diversité des perceptions recueillies sur le terrain

Les deux études de cas de recueil d'un pluralisme de régulation « sur le terrain » ont permis de mettre en avant la complexité des situations résultant de la diversité de perceptions en jeu. Après avoir illustré à quel point l'exercice de recueil d'une diversité de perceptions peut rapidement devenir complexe, cette cinquième partie s'attache à structurer les informations recueillies, sur la base des deux grands « niveaux » de perceptions analysés, à savoir:

- Les logiques possibles de répartition des droits d'accès aux ressources, par les instances régulatrices désignées;
- Les logiques possibles de choix d'accès et d'exploitation des ressources (pour lesquelles des droits ont été obtenus), par les usagers.

Les informations que l'on choisit de développer ici illustrent le fait qu'en mobilisant, interprétant et même créant différentes formes de régulation, les acteurs et leurs perceptions et pratiques sont l'essence même de ce qui constitue le pluralisme de régulation foncière, dynamique, qui persiste dans le temps, au Sénégal comme dans d'autres pays d'Afrique sahélienne.

5.1. Une illustration du concept de « diversité des perceptions »

La norme légale issue de la loi sur le Domaine National stipule que ce sont les conseils ruraux qui ont mandat de délivrer des droits d'usages sur la terre aux exploitants « *qui ont les moyens de la mettre en valeur* », via des procédures comprenant notamment une étape de frais de bornage pour délimiter l'espace attribué. Cette directive donne dans les faits lieu à une pluralité de situations suivant que le conseil rural décide que le candidat idéal est l'exploitant local ou plutôt l'investisseur

étranger, l'agriculteur ou plutôt l'éleveur, suivant qu'il soit dans une réelle démarche de sécuriser l'accès des usagers ou dans une démarche plus politisée visant à récupérer de l'argent ou des promesses de votes : cas de nombreux usagers ayant une délibération du conseil rural de la même année que des élections municipales, et ayant financé des frais de bornage sans jamais avoir été finalement physiquement installés dans l'espace...Les conseils ruraux adaptent donc ici la règle existante (et ce faisant, en créent des nouvelles) à leurs propres logiques d'action.

Par ailleurs, les conseils ruraux délivrent officiellement des droits d'usages sur la terre, les usagers sont donc considérés comme des usufruitiers (et non des propriétaires) ayant le droit d'exploiter directement la terre, mais pas de la louer, ni de la vendre, ni de la transmettre. Ils sont par ailleurs conditionnés à une contrainte de mise en valeur sous peine de laquelle on peut leur retirer leur droit d'usage. En pratique, on retrouve pourtant des usagers ayant des délibérations du conseil rural pour des terres sur lesquelles ils se considèrent comme propriétaires, qu'ils transmettent à leurs enfants, qu'ils louent, qu'ils vendent, sur lesquelles ils importent d'autres formes de régulation, en recréant une répartition commune de l'espace, qu'ils ne mettent pas forcément en valeur parce que leur objectif officiel est autre⁹...donc des perceptions très diversifiées et finalement très différentes de celles que peuvent avoir les conseils ruraux.

5.2. Structuration des logiques de répartition des droits d'accès aux ressources, par les instances régulatrices désignées

Le territoire est considéré dans cette recherche comme un espace défini sur lequel un individu ou une institution revendique une autorité, un droit de gestion sur tout ou une partie des ressources qu'il recèle (Le Roy 2011, Aubert 2013). Selon cette définition, les territoires se superposent et se modifient dans le temps. Ainsi au Sénégal par exemple, les conseils ruraux gèrent les terres rurales du Domaine national, au sein desquelles l'Etat gère les terres des zones classées, le chef de village gère son terroir traditionnel, le chef de famille gère son parcellaire familial...De même les agences des eaux et forêts gèrent l'accès aux ressources hydrauliques et sylvicoles sur ces mêmes territoires, au sein desquels le comité d'usagers gère son forage, le pasteur son puits, un lignage ou un village les ressources sylvicoles qui l'entourent etc.

Les différentes logiques d'action animant les instances régulatrices de ces différents territoires superposés conditionnent la répartition finale des ressources et l'exploitation de l'espace qui est faite derrière. Au-delà de ce que les usagers demandent comme droits d'accès aux ressources, il faut considérer que ce qu'ils reçoivent en retour dépend de la logique d'action suivie par l'instance régulatrice mobilisée. Pour n'en citer que quelques-unes, au niveau des socio-écosystèmes étudiés on peut observer :

- des logiques d'action faisant primer des enjeux économiques, où l'instance régulatrice privilégie les activités les plus rentables, pouvant amener à favoriser l'accès au foncier rural à certains usagers (investisseurs plutôt qu'exploitants locaux) ou certaines activités (agriculture plutôt qu'élevage) ;

⁹ Par exemple, sécuriser l'accès à l'eau au niveau du Lac de Guiers pour le bétail si l'utilisateur est un éleveur.

- des logiques d'action faisant primer des enjeux environnementaux, où l'instance régulatrice conditionne l'exploitation de l'espace à l'état des ressources (ex : si la ressource ligneuse disparaît, un agent des eaux et forêts peut ne plus délivrer d'autorisation de coupe) ;
- les logiques d'action faisant primer des enjeux sociaux, comme celle d'un chef de village qui privilégie les habitants du village pour l'accès au foncier par rapport aux extérieurs, un chef de famille qui assure une portion de terre à tous ses parents, un projet de développement qui ouvre l'accès au foncier aux jeunes et aux femmes, un conseil rural qui régularise la situation des usagers de sa zone pour prévenir de l'enjeu foncier grandissant....;
- les logiques d'action faisant primer des enjeux de tradition et coutume, comme la primauté de la première installation ou le principe de « l'ainé possède » (donc le 1^{er} fils hérite), ou encore de l'identification du droit à partir du statut¹⁰.

Ces logiques (non exhaustives) d'action ne sont pas nécessairement compatibles les unes avec les autres, c'est pourquoi on préfère souvent l'emploi du terme « chevauchement » plutôt que du terme « complémentarité » en matière de régulation foncière.

5.3. Structuration des logiques de choix d'accès et d'exploitation des ressources (pour lesquelles des droits ont été obtenus), par les usagers

Pour structurer la diversité des perceptions au niveau des différents usagers, on considère que ces derniers suivent des logiques d'action qui ont pour objectif de sécuriser au mieux leur(s) activité(s) quelles que soient leurs motivations personnelles en amont (nourrir leur famille, intensifier leur activité, accumuler du capital, s'intégrer dans l'espace social...). Une activité nécessitant une consommation en ressource(s), sécuriser au mieux son activité revient à ce que : (1) l'accès à cette ou ces ressource(s) existe, (2) qu'il soit qualitativement (par l'état environnemental des ressources) et quantitativement suffisant et (3) que cet accès soit assez sécurisé pour que l'utilisateur entreprenne les activités à l'origine de ses motivations.

En fonction de la nature des ressources nécessaires à la réalisation des activités, différentes sources d'accès existent pour parvenir à ces différents enjeux. Elles font appel à différentes formes de régulation, et l'utilisateur peut en mobiliser une ou plusieurs en fonction de sa perception, et ce faisant entrer en interaction avec une ou plusieurs instances régulatrices différentes. Si on considère par exemple la ressource terre agricole: un usager peut utiliser la règle communautaire de la primauté de l'installation et accéder à la terre par le « droit de défriche » (sans demander à personne), il peut mobiliser le chef de famille qui lui prêterait une portion sur les terres familiales, le chef de village qui lui rendrait accessible une portion du terroir villageois, il peut mobiliser le conseil rural qui peut lui délivrer un droit d'usage sur une terre via délibération écrite, il peut trouver des arrangements (ex : accès à la terre contre fourniture de gasoil et motopompe) avec d'autres usagers qui ont un accès à la terre pour co-exploiter ou directement leur louer leur terre (ou une portion), il peut se tourner directement vers l'Etat qui peut lui céder une portion de terre dans une zone classée, ou une superficie issue du Domaine national qu'il aurait récupérée pour cause d'utilité publique...

¹⁰ « Mécanisme par lequel les droits et les obligations de l'acteur sont saisis, définis, et sanctionnés par le statut qu'il occupe dans le collectif et non, comme en droit positif, par la personnalité juridique qui lui est reconnue à titre physique ou moral » (Le Roy 2011, p.394).

Par ailleurs, plusieurs moyens (non forcément exhaustifs) - découlant encore une fois de différentes formes de régulation - existent pour rendre cet accès à la terre et aux ressources assez sécurisé pour que l'utilisateur entreprenne en pratique ses activités. Ces moyens sont souvent liés, et ici encore l'utilisateur peut en mobiliser un ou plusieurs en fonction de la perception qu'il s'en fait:

La sécurisation de l'activité par l'accord écrit, le « papier ». Cette forme de sécurisation initialement inexistante dans les régulations foncières a été progressivement importée par les politiques publiques et les projets de développement jusqu'à parfois être perçue (selon la zone et ses enjeux) comme l'unique moyen de réellement sécuriser son accès à la ressource et donc son activité. Le besoin de « papier » peut être mis en directe relation avec les tensions foncières que connaît le socio-écosystème considéré. Le sens donné à ce « papier », ce qu'il sécurise, ce qu'il permet de faire, varie en fonction des perceptions, mais n'aurait de réel pouvoir de sécurisation que s'il est conditionné à une délimitation physique dans l'espace, une installation¹¹, ce qui amène à considérer :

La sécurisation de l'activité par le marquage dans l'espace (et dans la durée). Au-delà de la justification écrite, sécuriser son activité revient à marquer son espace, le mettre en valeur depuis la clôture autour du campement ou des champs et pâturages, aux infrastructures hydro-agricoles, à la plantation d'arbres, à la surveillance de l'espace (qui peut se traduire par une présence directe au niveau de la ressource toute l'année) et du temps (ex : certains usagers ne font pas de prêts de terre dépassant trois mois). Le marquage de l'espace dénote aussi d'une motivation à se rendre stratégiquement légitime sur le territoire, à assurer sa présence, par exemple pour de nombreux hameaux d'éleveurs encore non officiellement reconnus, le marquage consiste à multiplier les initiatives d'infrastructures pérennes présentes au niveau du campement pour officialiser l'habitat (et donc l'activité), au niveau des recensements, des cartographies officielles etc. Par ailleurs, le besoin de marquage spatial est lui aussi relativement conditionné aux tensions foncières que rencontre la zone. Les éleveurs ont été longtemps transhumants sans marquage particulier de l'espace. Le principe d'avoir un campement permanent légitimement (et officiellement) reconnu, et de vouloir sécuriser ses pâturages par des clôtures physiques, est un phénomène relativement récent découlant des enjeux grandissants sur les ressources. De même, les terres cultivées sur la base de régulations traditionnelles communautaires ne sont pas vraiment délimitées (au sens, un lot de parcelles fixe par famille). Les usagers les exploitent, et quand la fertilité de terre décroît, ils défrichent les terres voisines et laissent les premières au repos. La sécurisation de l'activité dans ce cas de figure ne se fait pas tant par le marquage spatial, que par :

La sécurisation de l'activité par la reconnaissance du collectif communautaire. En plus de permettre une reconnaissance légitime de l'activité qu'un usager exerce sur un territoire, et ce souvent depuis plusieurs générations¹², cette forme de sécurisation peut être aussi vue comme ce qui pousse un usager à demander (ou pas) un droit d'accès à une instance régulatrice, parce que ces démarches se font (ou ne se font pas) autour de lui ; avec dans l'esprit que cette communauté le sécurise parce que tout le monde y partage perceptions et pratiques (et donc si un usager se retrouve en insécurité, ce sera aussi le cas des autres membres de la communauté). Cette forme de sécurisation par la reconnaissance communautaire motive aussi les usagers à considérer des options d'exploitation des

¹¹ En lien avec les nombreuses délibérations ont été faites par les conseils ruraux sans installation physique derrière.

¹² « *Le système traditionnel sécurise parce qu'en cas de problème, le chef de village, les notables, tout le monde sait que tu exploites ici, que ton père exploitais déjà ici, ton grand-père aussi* ». Extrait d'entretien Massa Fall, agriculteur de Yamane, communauté rurale de Ngnith, zone du lac de Guiers.

ressources en commun¹³ (par rapport à une utilisation plus exclusive, individuelle), là où en parallèle, d'autres usagers préféreront :

La sécurisation de l'activité par l'exclusivité de l'accès, afin d'être seul exploitant de ses ressources, de pouvoir produire en plus grande quantité, décider ce que l'on décide d'en faire (quels choix d'activités, quels choix d'exploitation (directe, en location, en prêt)), avoir la possibilité de les céder etc. sans avoir besoin de demander à personne ou de valider collectivement au préalable chaque initiative...

Enfin, **la sécurisation de l'activité par le paiement, l'apport de capital financier**. C'est le moyen de sécuriser son accès et sa consommation en eau au niveau des bornes fontaines et des forages, en terre au niveau des locations (accords oraux conditionnés au paiement annuel du loyer) ou des frais de bornage dans les procédures des conseils ruraux...C'est également un moyen de sécuriser son activité en la mettant en valeur.

L'utilisateur jingle donc en fonction de ses besoins en ressources avec différentes règles et instances régulatrices et ce faisant réalise une combinaison plus ou moins complexe de formes de régulation pour parvenir à sécuriser au mieux ses activités à savoir bénéficier d'un accès aux ressources existant, qualitativement et quantitativement suffisant, et sécurisé.

5.4. Facteurs de dynamique des interactions au sein d'un socio-écosystème donné

Les combinaisons de formes de régulation que les différents usagers réalisent à un instant t pour sécuriser au mieux leurs activités sont dynamiques:

- dans le temps : certaines activités étant périodiques, saisonnières, annuelles, et nécessitant un renouvellement fréquent des droits d'accès (ex : droit de coupe de l'agent des eaux et forêts nécessaire à chaque fois qu'un usager veut accéder à la ressource en bois, paiement du droit d'accès à l'eau à chaque fois que les troupeaux doivent s'abreuver, demande d'accès à une terre à chaque hivernage, nouvelle location etc.) ;
- dans l'espace : les ressources n'étant pas qualitativement et quantitativement suffisamment disponibles sur place, les usagers vont les chercher là où elles se trouvent. En parallèle, on retrouve aussi « sur place » de multiples droits d'accès distincts sur le même espace en fonction de la nature de la ressource sollicitée (Weber 1998).

Les combinaisons de formes de régulation sont également dynamiques parce qu'amenées à être modifiées dans le temps en fonction de l'évolution de certains facteurs influents comme :

- Les critères socio-économiques des différents usagers (évolution de l'âge, du statut social, du capital financier...) pouvant conditionner leurs choix d'activités et les besoins en ressources en conséquence ;
- Les tensions foncières jouant sur la disponibilité en ressources. Les perceptions sont conditionnées par les tensions foncières notamment au sens où lorsque les tensions sont absentes, on favorise par exemple des formes de régulation d'accès « orales », alors que lorsqu'un enjeu économique, et donc des tensions naissent au niveau d'un territoire, les

¹³ Au sens « *tout ce que j'ai il faut que mes proches l'aient aussi* ». Extrait d'entretien Alassane Bâ, éleveur de Widou Thiengoli, zone sylvopastorale du Ferlo

usagers préféreront des formes de régulation favorisant une sécurisation « écrite » de l'accès (via mobilisation du conseil rural). On retrouve ainsi autant un usager qui « *garde toujours le système traditionnel, car quand il veut des terres c'est disponible donc c'est suffisant*¹⁴ » qu'un usager qui « *pour ses cultures actuelles, a une délibération pour 20 ha depuis 2000 mais n'a jamais été installé, et par conséquent ne fait que louer*¹⁵ » ;

- Les logiques d'action des instances régulatrices¹⁶. Si on contextualise avec le cas particulier du Sénégal, le gouvernement appuie (et reconnaît) plus l'activité agricole que l'élevage. Et les conseils ruraux donnent plus facilement de terres délibérées pour usage agricole que pastoral. Les éleveurs ont donc adapté leurs logiques d'action en conséquence, en demandant par exemple un droit d'usage sur une parcelle en bordure d'eau pour faire officiellement de l'agriculture, alors qu'ils sécurisent officieusement un accès à l'eau ou au pâturage, ou en demandant « un papier » pour régulariser leurs cultures hivernales alors qu'ils visent à sécuriser leurs pâturages et leurs campements. Et en conséquence directe des logiques d'action des conseils ruraux, on se retrouve souvent avec des agriculteurs qui ont des terres délibérées avec « papier » mais n'ont pas les moyens économiques de mettre en valeur derrière, et en parallèle des éleveurs pour qui ce n'est pas tant une question de moyens économiques que d'arriver à accéder à ces terres avec « papier ».

6. Discussion

Le cadre théorique mobilisé à travers les deux études de cas réalisées semble donc relativement adapté au contexte sahélien, où les systèmes d'exploitation sont souples, et basés sur l'intégration de plusieurs activités qui posent les bases des interactions entre usagers et différentes natures de ressource dans le temps et dans l'espace. Pour satisfaire ce besoin en ressource(s), les usagers mobilisent, selon les contextes rencontrés, différentes règles d'accès qui les mettent en interaction avec différentes instances régulatrices. Ce faisant, ils définissent ainsi leurs perceptions spécifiques, d'une sécurisation et d'une légitimation de leurs usages au sein d'un pluralisme de régulation. De même, les instances régulatrices en autorisant ou non cet accès aux différents usagers définissent également leurs perceptions et assoient leurs rôles de régulateurs au sein de ce pluralisme de régulation. L'accès aux ressources pouvant être l'enjeu de multiples revendications territoriales, « *il s'établit (ou se renégocie) donc périodiquement et corrélativement aux changements de configurations du socio-écosystème (émergence de conditions favorables à une revendication ou à son abandon)* » (Aubert 2013, p.99).

Si des efforts ont été fournis dans la construction et mise à l'épreuve d'un cadre théorique permettant de recueillir et structurer la diversité des perceptions des acteurs dans leurs interactions à propos de l'accès au foncier rural, il n'en demeure pas moins que cette diversité est très grande (spécifique à chaque individu), dynamique dans le temps et l'espace, et restera toujours relativement complexe à recueillir. Le risque principal que l'on peut associer à cette approche reste que l'exercice de structuration de cette diversité de perceptions (dont une première illustration a été proposée

¹⁴ Extrait d'entretien avec Cheick Fall, agro-éleveur de Tessekré, zone sylvo-pastorale du Ferlo

¹⁵ Extrait d'entretien avec Pape Maur Ndiaye, agriculteur de Ngnith, zone du lac de Guiers

¹⁶ Les perceptions des instances régulatrices sont en effet aussi dynamiques et peuvent évoluer dans le temps suivant les tensions foncières que rencontre le territoire, suivant que l'instance régulatrice privilégie son intérêt personnel ou celui de la communauté etc. « *Il est en effet difficile de savoir clairement à l'avance quelle autorité décidera et en fonction de quelles normes ou règles, le pluralisme juridique étant parfois intrinsèque à chaque institution* ». (Barthès 2009).

dans la partie résultats de cet article) puisse formaliser ce pluralisme de régulation au point de lui faire perdre son essence et son réalisme. Ce risque est ici contourné en mettant cet exercice de structuration des logiques d'action recueillies au service du pluralisme, à savoir en ne cherchant pas à le décrire de manière exhaustive mais plutôt à mettre en avant en quoi cette diversité de perceptions représente un facteur explicatif majeur de la persistance du pluralisme de régulation observé. Rappelons ici que l'analyse se concentre sur les régulations à propos de l'accès aux ressources, mais que la pluralité des règles et instances mobilisées s'observe à toutes les étapes du fonctionnement des systèmes fonciers, et notamment pour le règlement des conflits sur lesdites ressources (Mathieu 1996, Jacob 2007, Barthès 2009).

Centrer la démarche sur la diversité des perceptions (et logiques d'action en conséquence) des acteurs à propos de leur besoin d'accéder aux ressources a par ailleurs permis « *de mieux identifier les rapports complexes entre les pratiques d'accès aux ressources foncières d'une part, et les pratiques d'usage et d'exploitation de ces ressources d'autre part* » (Chauveau 1998, p.39). Et à ce propos, un point important de la recherche est de considérer le foncier rural comme l'ensemble des ressources (terre, eau, végétaux etc.) susceptible d'un usage (et l'ensemble des formes de régulation qui leur sont associées) et ne pas limiter l'approche à l'accès à la ressource terre uniquement, ce qui réduirait le pluralisme d'accès et d'usage des ressources dans un espace clos, ou du moins délimité, ce qui est souvent inadéquat. La présence démarche permet au contraire d'embrasser le pluralisme en considérant « *l'ensemble des droits d'accès temporaires ou permanents, individuels ou collectifs, sur des espaces multiples s'entremêlant* » (Weber 1998, p.22).

7. Conclusion

A travers l'élaboration et l'application de ce cadre théorique dans deux zones rurales du Sénégal aux contextes diversifiés, nous avons cherché à mettre en avant qu'en mobilisant, interprétant et créant différentes formes de régulation, les acteurs, du fait de leurs perceptions et pratiques spécifiques et variées, sont l'essence même de ce qui constitue le pluralisme de régulation foncière qui persiste dans le temps au Sénégal, et dans d'autres pays d'Afrique sahélienne.

Au-delà de ce que l'Etat décide de reconnaître comme norme et d'intégrer à ce qui est tenu comme le droit positif de la société, les acteurs du foncier considèrent que les formes traditionnelles de droits existent toujours, tout en ne niant pas que le droit moderne existe aussi. Le droit traditionnel fait par ailleurs appel à une pluralité de formes de régulation (dans le choix des instances et des règles mobilisées), au même titre que le droit moderne via la multitude de politiques publiques qui a pu se superposer dans le temps. Il en résulte qu'en matière de régulation foncière, les acteurs s'appuient en pratique plus sur un pluralisme de régulation, que l'on peut comparer à un « millefeuille » de formes de régulations plutôt que sur une seule référence de régulation reconnue et appliquée par tous. Ils puisent au besoin dans ce pluralisme de régulations, avec l'objectif ce faisant de sécuriser au mieux leur accès au foncier, en mobilisant les formes de régulation qui font le plus sens pour eux au regard du contexte rencontré (de la nature de la ressource ou de l'activité, de la pression sur les ressources etc.).

Une politique foncière est donc considérée ici comme l'une des formes de régulation potentielles liant l'utilisateur à ses logiques d'action. Ce n'est finalement pas tant que les lois officielles ne sont pas effectives en pratique mais plutôt qu'elles sont interprétées et utilisées selon le besoin et les perceptions au travers des logiques d'action des différents acteurs (Chauveau 1998, Barthès 2009).

Chaque individu « fait son marché » dans ce pluralisme de régulations, et sélectionne selon sa perception les règles et instances régulatrices sous lesquelles il entend s'inscrire, au risque de voir ses choix invalidés et « sanctionnés » par les formes de régulation qu'il n'a pas mobilisées (Le Roy 2011). Les acteurs se constituent se faisant leurs « portefeuilles » respectifs de droits d'accès aux ressources foncières, l'assemblage de la grande diversité des portefeuilles existants étant l'essence du pluralisme de régulation que l'on a ici cherché à explorer.

Contribution des auteurs

Hermine Papazian et Patrick d'Aquino ont conçu et construit la grille d'enquête. Hermine Papazian a réalisé les enquêtes de terrain (avec l'assistance d'un traducteur). Patrick d'Aquino a contribué à la réflexion présentée dans cet article. Hermine Papazian a écrit l'article.

Chapitre 2 : Jouer avec diverses sources de régulation foncière : le pluralisme sahélien

Ce chapitre est adapté de l'article de revue :

Papazian H., d'Aquino P., Bourgoïn J., Bâ A. (2015). Jouer avec diverses sources de régulation foncière : le pluralisme sahélien, *Economie Rurale*, (à paraître).

Synthèse

Au Sahel rural, les populations locales développent de manière dynamique et évolutive des règles locales d'usage et de gestion de l'espace qui permettent de minimiser l'incertitude sur la rareté et l'imprévisibilité des ressources sahéliennes. En parallèle, les politiques foncières mises en place par les États, ne reconnaissant pas ces règles locales, ont véhiculé des approches du foncier et de la propriété de conception trop étrangère au contexte local pour parvenir à les effacer. Une situation complexe s'est installée, où les acteurs mobilisent de façon différente, en fonction de leurs perceptions spécifiques et diversifiées, de la situation locale et de l'usage foncier considéré, les différentes sources de régulation qu'ils considèrent avoir à leur disposition : le fond de régulation locale, la réglementation officielle actuelle et même les réglementations officielles précédentes, aujourd'hui obsolètes. Les différentes politiques foncières qui ont été successivement appliquées restent en effet pour les acteurs locaux comme autant de sources de régulation encore mobilisables, elles conservent encore une légitimité à leurs yeux. Les acteurs du foncier s'appuient donc en pratique plus sur un « portefeuille » de sources de régulations qu'ils se constituent et dans lequel ils puisent selon le contexte, plutôt que sur une seule référence de régulation reconnue et appliquée par tous.

Ce deuxième chapitre apporte des éléments de compréhension et d'analyse des critères de choix des usagers du foncier, sur la base desquelles ils décident de mobiliser telle ou telle source de régulation foncière en fonction d'un contexte donné. L'analyse s'appuie sur les résultats d'une expérimentation de jeu de rôles réalisée dans les mêmes deux zones rurales sénégalaises déjà appréhendées dans le premier chapitre. Le jeu de rôles est ici développé pour essayer, par une mise en situation des usagers dans différents contextes, de mieux saisir les critères de leurs logiques décisionnelles en matière de régulation foncière. Il suit les principes de la Modélisation d'Accompagnement et a pour objectif de permettre d'étudier la continuité entre les discours résultant de méthodes d'entretiens individuels et les logiques d'action qui en découlent en pratique, quand les acteurs sont directement mis en situation dans une arène les faisant entrer en interaction avec d'autres acteurs (et leurs propres logiques d'action).

Au regard et en complément des premiers travaux d'enquêtes réalisés dans le chapitre 1, l'hypothèse qu'il nous semblait important d'explorer, et pour laquelle l'expérimentation d'un jeu de rôle était pertinente concerne (i) la logique mise en œuvre par les populations locales pour le choix d'une source de régulation parmi les différentes sources qu'elles considèrent disponibles, ainsi que (ii) la logique pouvant les amener à changer de source de régulation en fonction de l'évolution du contexte : l'utilisateur mobiliserait parmi les sources de régulation qu'il considère exister celle qui

sécurise le mieux son accès à chacune des parcelles qu'il souhaite exploiter, au regard du contexte donné et du type d'exploitation envisagé sur la parcelle.

En lien avec les réalités de la situation foncière sénégalaise actuelle, le jeu propose donc trois sources de régulation: (i) la « tradition », symbolisant les règles d'usage et de gestion mises en place au fil des siècles par les populations sahéliennes, sous l'autorité de chefs de terre, (ii) l'affectation foncière, autorisation de mise en valeur octroyée par les communautés rurales, et (iii) le titre foncier, titre de propriété privée octroyé par l'État. Ces différences sources de régulation foncière sont introduites au cours de différents scénarios de jeu pouvant amener un usager à considérer sa sécurisation foncière fragilisée, au point de l'amener à modifier la source de régulation qu'il mobilise. En lien avec les réalités des deux études de cas sénégalaises réalisées dans le premier chapitre, deux causes possibles de perception de fragilisation foncière sont ici testées : (i) une pression trop forte sur les ressources, jouant sur une évolution du contexte spatial ou (ii) un type d'activité nécessitant un investissement important, jouant sur une évolution du contexte économique.

Les résultats de l'expérimentation du jeu de rôles dans ces deux zones rurales aux contextes diversifiés peuvent être rapprochés des réalités foncières observées au préalable dans ces mêmes deux zones lors des travaux de terrain. Dans une zone où les tensions foncières prédominent (comme dans la partie irriguée de la vallée du fleuve Sénégal), où la perception de sécurité foncière est déjà fragilisée, et où les sources officielles de régulation foncière telles que les affectations et titres fonciers sont présentes, les participants sont plus réactifs et modifient plus rapidement leurs logiques d'accès aux ressources pour opter pour ces nouvelles sources. A l'inverse, dans les contextes où les sources officielles de régulation ont peu d'emprise (comme dans la zone sylvo-pastorale du Ferlo), les sources dites « traditionnelles » de régulation restent un gage de sécurité suffisant pour les acteurs, au point qu'ils investissent dans leurs activités rurales sur la base de ces seuls droits dits « coutumiers ».

Les résultats mettent également en avant qu'en terme de dynamique de mobilisation de ce pluralisme de régulation, les usagers semblent agir en partie par « imitation » dans leurs logiques d'action, en s'adaptant à la source de régulation foncière prédominante, qu'elle soit officielle ou pas, dans la zone où se situe la ressource dont l'usager nécessite l'accès. La perception de sécurité foncière se construit donc pour un usager au moins en partie sur la base de ce qui est reconnu par les autres, car cette reconnaissance assure à l'usager une non-contestation et une légitimité de ses droits fonciers. La nature des nouvelles sources de régulation introduites par des politiques foncières (propriété privée, bail, affectation...) ne semble par ailleurs pas avoir de valeur en soi pour les acteurs, ils la choisissent de manière stratégique parce qu'elle semble constituer ce qui sécurisera le mieux leur accès au foncier dans ces nouveaux contextes d'insécurité foncière où leurs pratiques actuelles ne suffisent plus. Ces sources de régulation ne résultant pas initialement des pratiques des acteurs, ils les considèrent avec une certaine distance, et ne les mobilisent que dans les zones où leurs pairs les ont déjà au préalable légitimés dans leurs pratiques d'accès. Cette légitimation semble d'ailleurs viser d'avantage à se protéger contre les effets possibles de ces nouvelles régulations imposées qu'à sécuriser des droits susceptibles d'être remis en cause localement. Les critères sociaux et la stabilité sociale de l'ensemble font donc ici encore grandement partie des processus décisionnels, et introduisent l'importance de l'interdépendance entre acteurs et de l'intérêt d'opter pour l'angle d'approche des interactions pour l'appréhension « orienté-acteurs » d'un pluralisme de régulation.

1. Introduction

En Afrique sahélienne, la situation foncière se caractérise par l'imbrication de normes et d'instances en matière de régulation foncière, articulant des pratiques locales informelles¹⁷ (mais reconnues par les populations) avec un droit foncier légal où l'essentiel du territoire demeure au sein de l'État (voir p.e. Le Bris et al. 1991, Le Roy 1996, Lavigne Delville et al. 1998, Jacob 2007).

D'une part, les populations locales développent de manière dynamique et évolutive des règles locales d'usage et de gestion de l'espace qui permettent de minimiser l'incertitude sur la rareté et l'imprévisibilité des ressources sahéliennes (Ellis et al. 1988, Thébaud 1990, Bassett 1993, Mehta et Leach 1999). Ces règles collectives sont caractérisées par leur grande flexibilité, y compris sous forme d'une grande mobilité des populations afin de tirer parti de l'extrême variabilité de leur environnement (Gallais 1977, Behnke et Scoones 1992), et par une gestion des ressources naturelles construite sur la notion de commun¹⁸, avec pour objectif de permettre l'accès à ces ressources à un maximum de groupes cibles (Berkes et al. 1989, Ostrom 1990, Le Roy 1995a, Jacob 2007).

En parallèle, les politiques foncières mises en place par les États, ne reconnaissant pas ces règles locales, ont véhiculé des approches du foncier et de la propriété de conceptions trop étrangères au contexte local pour parvenir à les effacer. L'évolution de la situation foncière au Sahel rural montre ainsi que ces politiques ont en pratique finalement accentué la complexité déjà en place (Bruce et Migot-Adholla 1994, Chauveau et Lavigne Delville 2004, Colin et al. 2010, Hall 2012). En effet, plutôt que de renoncer à leurs pratiques, les populations locales ont rajouté les politiques foncières successivement mises en place à leurs sources locales de régulation déjà existantes.

Une situation complexe s'est installée, où les acteurs mobilisent de façon différente, en fonction de leurs perceptions spécifiques et diversifiées, de la situation locale et de l'usage foncier considéré, les différentes sources de régulation qu'ils considèrent avoir à leur disposition : le fond de régulation locale, la réglementation officielle actuelle et même les réglementations officielles précédentes, aujourd'hui obsolètes (Metah et al. 1999, Hall 2012).

Le présent article apporte des éléments de compréhension et d'analyse des critères de choix des usagers du foncier, sur la base desquelles ils réalisent leur « *forum shopping* » (von Benda-Beckham 1981, Cleaver 2002, Meinzen-Dick et Pradhan 2002) et décident de mobiliser telle ou telle source de régulation foncière en fonction d'un contexte donné. L'analyse s'appuie sur les résultats d'une expérimentation de jeu de rôles, développée pour essayer, par une mise en situation des usagers dans différents contextes, de mieux saisir les critères de leurs logiques décisionnelles en matière de régulation foncière.

L'article propose ainsi de premières pistes de réflexion pour appréhender les contextes dans lesquelles s'intégreraient les futures politiques foncières mises en place par les états sahéliens. Partant en effet de ce double constat (1) qu'une nouvelle politique foncière ne représente qu'une nouvelle source de régulation venant s'ajouter à la complexité existante (mais ne supprimant pas les sources de régulation existant au préalable), et (2) que la prise en compte de toute nouvelle politique foncière à venir sera basée sur l'interprétation et l'utilisation effective qu'en feront les différents

¹⁷ Informel au sens de ce qui ne relève pas de l'officiel, donc du droit positif reconnu par l'Etat.

¹⁸ Au sens « *intermédiaire résultant de la constante balance entre intérêts individuels et collectifs* » (Le Roy 2011)

acteurs, et non sur son application d'office présumée, il devient intéressant d'interroger les critères de choix suivant lesquels les usagers décident de mobiliser les différentes sources de régulation dans leurs contextes actuels.

Le présent article espère ainsi participer à un cadre de réflexions plus larges actuellement en cours pour réformer le foncier rural dans plusieurs pays d'Afrique sahélienne, dont le Sénégal, où a été conduite la présente recherche.

2. Cadre méthodologique

2.1. Une conceptualisation du cadre d'analyse « orientée acteur »

Au Sahel rural, les différentes politiques foncières qui ont été successivement appliquées restent donc pour les acteurs locaux comme autant de sources de régulation encore mobilisables et conservent encore une légitimité à leurs yeux. Les différentes lois présentes ou passées sont ainsi interprétées, puis utilisées ou pas, selon le besoin et les perceptions des acteurs, au travers de leurs propres logiques d'action (Chauveau 1998, Le Roy 1999, Metah et al. 1999, Barthès 2009).

Ce pluralisme (Griffiths 1986, Le Roy 1996, Lavigne Delville et al. 1998, Chauveau et al. 2001, Meizen-Dick et Pradhan 2002, Jacob 2007) de régulation observé est certes informel mais persiste dans le temps et s'adapte aux différentes influences et chocs externes. Il provoque cependant un certain « flou » (Metah et al. 1999), difficile à appréhender: différents acteurs peuvent revendiquer des droits sur un même espace en se référant à des sources de régulation différentes (Lavigne Delville 2010). Pour nous aider à formaliser cette logique floue et flexible, nous avons directement conceptualisé le point de vue des acteurs, respectant leurs perceptions de différentes sources de régulation mobilisables en fonction de leurs propres décisions : en quelque sorte, un cadre de conceptualisation « orienté-acteurs ».

Ce cadre de conceptualisation « orienté-acteurs » nous amène à considérer les différents systèmes de règles comme de simples « sources » potentielles de régulation. Le terme de source traduit l'idée que les usagers puisent de façon partielle dans un ensemble de règles et d'instances régulatrices, sans approche systémique : ce n'est pas parce qu'un usager décide à un instant *t* de mobiliser telle autorité ou telle règle qu'il embrassera forcément l'intégralité du fonctionnement, et de la logique, du système qui lui sont associés. En fonction de leurs perceptions respectives, définies par une multitude de critères pouvant être notamment liés au positionnement de l'utilisateur dans l'espace spatial et social (comme le sexe, l'âge, le statut social au sein des différents collectifs (familial, villageois, lignager, religieux, politique...) de l'utilisateur¹⁹, son niveau de capital financier, mais aussi son histoire, à savoir sa localisation géographique, son ancienneté dans la zone, son héritage (en terre, en cheptel, en savoir-faire...), etc.), les acteurs locaux se constituent leur propre « puzzle de fonctionnement » respectif en allant puiser les pièces de ce puzzle dans les différents systèmes qui leur sont proposés. Ce puzzle évolue dans le temps, au fil des expériences vécues et des interactions sociales locales, qui font évoluer la légitimité de tel ou tel système de régulation, ou plutôt de telle

¹⁹ Ainsi un homme n'aura pas forcément les mêmes conditions d'accès à la terre et aux ressources qu'une femme, ni qu'un cadet par rapport à l'aîné de la famille, ni que des chefs de villages ou conseillers ruraux par rapport aux populations locales (et entre eux), ni qu'un investisseur étranger par rapport aux usagers locaux, ni un allochtone par rapport à un autochtone etc.

ou telle façon d'extraire une règle d'un système de régulation. Le choix d'une conceptualisation orienté-acteur aboutit donc à une approche constructiviste.

2.2. Un jeu de rôles comme méthode d'enquête

Notre hypothèse est qu'un jeu de rôles est un bon moyen de faciliter l'expression du jeu des acteurs vis-à-vis des différentes sources de régulation. Nous avons ainsi conçu pour notre enquête un jeu de rôles tel qu'utilisé dans la Modélisation d'Accompagnement (Bousquet et al. 1996, Barreteau et al. 1997, d'Aquino et al. 2003, ComMod 2005, Etienne et al. 2010).

Le choix du jeu de rôles a ici pour objectif de permettre d'étudier la continuité entre les discours résultant de méthodes d'entretiens individuels et les logiques d'action qui en découlent en pratique, quand les acteurs sont directement mis en situation dans une arène les faisant entrer en interaction avec d'autres acteurs (et leurs propres logiques d'action). C'est une méthode d'enquête complémentaire, constituant pour beaucoup d'acteurs un support intéressant d'expression et de recueil de la diversité des points de vue d'acteurs en situation d'action (Schelling 1960, Mermet 1993, Ostrom et al. 1994, Piveteau 1995, etc.), quel que soit l'objectif recherché par l'expérimentation (recueil de connaissances locales, sensibilisation à une problématique, validation de modèle conceptuel, recherche d'un consensus sur un conflit, prospective, ...).

Dans une approche de Modélisation d'Accompagnement, le jeu de rôles est volontairement conçu pour inviter les réalités des joueurs : les joueurs sont les propres acteurs de la description d'un contexte, qui devient le cadre de jeu, dans lequel ils vont ensuite jouer librement leurs pratiques (Barreteau et al. 2001, d'Aquino et al. 2003, Bousquet et al. 2003, Daré 2003, Barreteau et al. 2003a et b). Pour modifier les conditions du contexte donné, des situations de tensions sont ensuite volontairement introduites dans le jeu sans que leurs modalités de sortie ne puissent être induites par les règles du jeu : les joueurs doivent alors mobiliser dans leurs propres connaissances et expériences les éléments leur permettant de résoudre individuellement ou collectivement les difficultés qui leur sont soumises (Daré 2005, d'Aquino et Bah 2014).

2.2.1. Processus d'élaboration du jeu de rôles

La construction de ce cadre méthodologique a été progressive et itérative, sur la base d'aller-retours entre analyse théorique, enquêtes de terrain dans différentes zones rurales du Sénégal, essais de modélisation conceptuelle de cette réalité complexe et expérimentation du jeu de rôle construit, à travers la mise en œuvre de différents temps d'ateliers participatifs (ateliers d'élaboration/test du modèle conceptuel, du support et du calibrage du jeu, des règles du jeu et du processus d'animation, etc.). Ce cadre méthodologique s'inscrit dans un plus large programme de recherche sur la gestion des ressources naturelles qui a pris place au Sénégal entre 2010 et 2015, et qui portait notamment sur la mise en place d'ateliers de simulation participative pour concevoir les politiques publiques (d'Aquino et Bah 2013a, 2013b, 2014).

200 entretiens individuels ont été réalisés entre mars 2011 et août 2013 au Sénégal dans les zones de la vallée du fleuve Sénégal et de la zone sylvo-pastorale du Ferlo, avec une pluralité d'acteurs (agriculteurs, éleveurs, agro-éleveurs, allochtones, autochtones, femmes, jeunes, chefs de village, conseillers ruraux, administration sectorielle, ministres d'État...). L'objectif de ces entretiens était de recueillir une grande diversité de perceptions sur ce qu'englobe le concept de pluralisme de

régulation foncière, sous l'angle d'approche des interactions (entre usagers et régulateurs d'une part, et entre acteurs et leur environnement d'autre part) pour l'accès aux ressources. Le choix des zones d'étude se voulait représentatif de la diversité nationale en terme de tensions, de conflits, de gestions et d'usages qu'il est possible de faire des ressources foncières. Ces deux zones se différencient entre autre par leur niveau d'intégration à l'agriculture intensive, allant de pair avec une apparition plus ou moins prononcée de sources de régulation foncière officielles dans les pratiques d'accès aux ressources des usagers.

A ce propos, au Sénégal, la gestion foncière repose officiellement sur la loi n° 64-46 du 17 juin 1964, relative au Domaine national. L'État détient les terres du domaine national « *en vue d'assurer leur utilisation et leur mise en valeur rationnelles, conformément aux plans de développement et aux programmes d'aménagement* ». Sur cette base, l'Etat peut, en justifiant au préalable d'un intérêt public, mobiliser à tout moment des terres du Domaine National et les faire immatriculer en son nom (elles rentrent alors dans le Domaine public ou privé de l'Etat) et/ou les céder par le biais de titres fonciers à divers projets, notamment d'investissements fonciers. Par ailleurs, depuis 1972 et l'initiation du processus de décentralisation, la gérance des terres du Domaine National est officiellement laissée aux collectivités locales de base, à savoir les conseils ruraux pour les communautés rurales. Les terres du Domaine national ne peuvent faire l'objet que d'affectations aux membres des communautés rurales concernées, excluant toute capacité de transaction (aliénation, location, vente, etc.). De durée indéterminée, l'affectation est génératrice d'un droit d'usage (relativement limité). Il est important de préciser ici que la loi sur le Domaine National ne reconnaît officiellement pas les droits dits « coutumiers », antérieurs à sa mise en place, et les ressources qu'ils peuvent concerner ont été directement intégrées dans ce qui compose aujourd'hui le Domaine National.

La zone sylvo-pastorale du Ferlo localisée au centre de la zone sahélienne, au Nord-Est du Sénégal concentre une population d'éleveurs transhumants, couplant leur activité principale à des activités de cultures pluviales pendant l'hivernage, et de cueillette (ou diverses activités de commerce complémentaires) tout au long de l'année. La zone concentre la plus grande partie des espaces de pâturage du pays, et bénéficie depuis les indépendances de projets de mise en place de grands forages pour l'abreuvement des troupeaux, donc de nombreux éleveurs transhumants saisonniers viennent cycliquement s'ajouter à la population résidente. En dehors des conflits à propos de la ressource en eau, quantitativement insuffisante pour subvenir aux besoins des résidents et des transhumants, et ceux concernant l'avancée du front arachidier réduisant petit à petit l'espace disponible à l'élevage, les tensions foncières sont encore relativement absentes de cette zone. Les sources informelles de régulation foncière prédominent dans les interactions pour accéder aux ressources.

La zone autour du Lac de Guiers dans la partie Nord-Ouest de la vallée du fleuve Sénégal est quant à elle au cœur de grandes tensions foncières. Les terres aux abords directs du lac sont facilement irrigables et la population résidente y développe, sur une base d'affectations foncières délivrées par les conseils ruraux, une petite agriculture irriguée depuis les années 1990. Depuis 2008, ces mêmes terres sont également convoitées par des investisseurs ayant les moyens de mettre jusqu'à plusieurs milliers d'hectares en valeur, et certains projets de cette nature sont, majoritairement par le biais de titres fonciers délivrés par l'Etat, en cours d'implantation dans la zone. Par ailleurs, sur les terres exondées plus éloignées des abords directs du lac évoluent des populations d'éleveurs se

rapprochant de celles de la zone sylvo-pastorale du Ferlo, le lac de Guiers représentant une source d'abreuvement non négligeable pour les troupeaux de la zone. Cette zone cristallise donc différentes formes de tensions que l'on peut observer à propos des ressources foncières : des conflits d'espace entre usagers autochtones de la zone (agriculteurs/éleveurs, agriculture pluviale/irriguée...) aux conflits entre autochtones et allochtones (résidents/non-résidents d'une communauté rurale, sénégalais/étrangers, petites agricultures familiales/ grands projets d'investissement fonciers...).

2.2.2. Hypothèse de recherche que le jeu de rôles cherche à explorer

Au regard et en complément de ces premiers travaux d'enquêtes, l'hypothèse qu'il nous semblait important d'explorer, et pour laquelle l'expérimentation d'un jeu de rôle était pertinente concerne (1) la logique mise en œuvre par les populations locales pour le choix d'une source de régulation parmi les différentes sources qu'elles considèrent disponibles, ainsi que (2) la logique pouvant les amener à changer de source de régulation en fonction de l'évolution du contexte : l'utilisateur mobiliserait parmi les sources de régulation qu'il considère exister celle qui sécurise le mieux son accès à chacune des parcelles qu'il souhaite exploiter, au regard du contexte donné et du type d'exploitation envisagé sur la parcelle (la perception de sécurité foncière peut être en effet conditionnée à la nature de l'activité réalisée (Bruce et Migot-Adholla 1994)). Un même usager peut en effet très bien préférer pour l'exploitation des terres dans son village une sécurisation basée sur des droits saisonniers oraux régulés chaque année par le chef de village, et rechercher en parallèle sur une autre terre une sécurisation par un droit écrit délivré par une instance officielle.

Cette hypothèse découle du constat que les usagers du foncier ne semblent pas considérer exclusivement une source de régulation ou une autre, ni être en transition d'une source à l'autre mais qu'ils puisent vraiment au besoin dans ce pluralisme de régulations, avec l'objectif ce faisant de sécuriser au mieux leur accès au foncier, en mobilisant les sources de régulation qui font le plus sens pour eux, au regard de leurs perceptions et du contexte rencontré (de la nature de la ressource ou de l'activité, de la pression sur les ressources etc.). La sécurité foncière est donc considérée ici comme un sentiment, fruit d'un processus dynamique qui change et s'adapte en fonction des conditions d'un contexte donné (Le Roy 1999, Bruce et Migot-Adholla 1994).

2.3. Protocole expérimental

2.3.1. Support de jeu et initialisation de l'expérience

Le jeu de rôles met donc à la disposition des joueurs, des paysans sahéliens, un plateau représentant un territoire avec des parcelles de divers paysages, contenant des ressources naturelles de façon diversifiée. Une diversité de sources possibles de régulation foncière, laissées au choix du joueur, permettent de sécuriser l'accès à ces ressources naturelles. L'objectif du joueur est d'accéder et exploiter des parcelles dans ce territoire, en situation environnementale difficile, pour produire et subvenir aux besoins de sa famille. Le pas de temps (équivalent à un tour de jeu) est celui de la saison culturale. Les participants n'ont pas de rôle spécifique assigné, autre qu'être usager des ressources naturelles, ni de règles de conduite préalablement dictées. Les actions et comportements sont laissés au libre arbitre du joueur, simplement soutenus par quelques règles de base permettant de présenter la simulation sous forme de jeu : les paramètres fixés dans le jeu sont ainsi uniquement liés à la représentation simplifiée de dynamiques agro-écologiques et à l'introduction progressive de

scénarios poussant les joueurs à réagir et à mettre en œuvre leurs logiques de mobilisation d'un pluralisme de régulation foncière.

Le modèle de plateau de jeu utilisé représente ainsi la carte d'une région sahélienne typique (Figure 2) avec différents types de milieux naturels : les bas-fonds fertiles, les dunes sableuses intermédiaires, et les sols dégradés. Chaque carré équivaut à une parcelle que les différents joueurs de la communauté locale peuvent exploiter, saison après saison, année après année, en y installant différentes activités (agriculture, élevage, cueillette). En fonction de la nature du milieu, et de la pluviométrie de l'année en cours²⁰, le stock de ressources disponibles par parcelle (représentées par les billes noires), et donc le potentiel agro-économique, ne sera pas le même. En pratiquant ces activités les joueurs récoltent donc plus ou moins de billes de ressources (fertilité du sol, biomasse, eau) permettant d'estimer et comparer leur production. Chaque joueur conserve ces unités de production, qu'il utilise ensuite pour ses différentes dépenses (nourrir sa famille, investir dans les activités, etc.).

En lien avec les réalités de la situation foncière sénégalaise actuelle, le jeu propose trois sources de régulation:

- la « tradition », symbolisant les règles d'usage et de gestion mises en place au fil des siècles par les populations sahéliennes, sous l'autorité de chefs de terre. Ces règles sont caractérisées ici par des accords oraux d'accès négociés au début de chaque saison culturale et autorisant potentiellement l'usage collectif des ressources d'une même parcelle.
- l'affectation foncière, autorisation de mise en valeur octroyée par les communautés rurales ;
- le titre foncier, titre de propriété privée octroyé par l'État.

Ces différences sources de régulation foncière sont introduites par les animateurs, au cours de certains des différents scénarios de jeu (voir Figure 3). Ces scénarios ont en effet été construits pour permettre également de tester dans quelles conditions les joueurs peuvent être amenés à mobiliser d'eux-mêmes ces différentes sources, qui peuvent leur être familières, sans que les animateurs ne leur proposent.

La situation initiale de jeu est donc la suivante: le plateau de jeu représente un terroir sous la régulation d'un chef de terre, et les joueurs répartissent leurs activités dans cet espace aux caractéristiques inégales, avec le principe de l'accord tacite préalable du chef de terre. Les joueurs ont initialement tous les mêmes moyens de production pour réaliser leurs activités. Le jeu se déroule en 6 tours, sous la forme d'une succession saison des pluies/saison sèche. En lien avec le calibrage du jeu et les besoins des scénarios développés, quatre plateaux de jeu, tous identiques et rassemblant chacun cinq joueurs, sont installés. Afin de limiter les biais et jeux d'influence, les cinq joueurs de chaque plateau évoluent de manière isolée de ceux des autres plateaux.

²⁰ La dynamique de pluviométrie, très simplifiée, a pour unique but de mettre l'accent sur les conditions sahéliennes en termes de grande variabilité et d'incertitude : le rapport de 1 à 10 pour la quantité de pluie qui tombe d'une année à l'autre, mais aussi sur une même année d'une parcelle à l'autre, car les pluies sont extrêmement localisées.



Figure 2: Plateforme expérimentale du jeu de rôles

2.3.2. Introduction progressive de scénarios de « fragilisation foncière »

Dans ce contexte de jeu, pour tester notre hypothèse concernant la logique des populations dans leur choix d'une source de régulation, l'animateur introduit des situations, que l'on appelle donc scénarios, pouvant amener un usager à considérer sa sécurisation foncière fragilisée, au point de l'amener à modifier la source de régulation qu'il mobilise. En lien avec les réalités des deux études de cas sénégalaises réalisées, deux causes possibles de perception de fragilisation foncière sont ici testées : (1) une pression trop forte sur les ressources, jouant sur une évolution du contexte spatial ou (2) un type d'activité nécessitant un investissement important, jouant sur une évolution du contexte économique (et sur le lien entre perception de sécurité foncière et type d'exploitation envisagé).

Pour la première cause de perception de fragilisation foncière à tester, on introduit successivement dans le jeu deux natures de pression : (1) une saturation des ressources disponibles et (2) une fermeture de l'espace (voir Figure 3). Dans le premier scénario, la pression est introduite sans modifier la régulation foncière traditionnelle opérant initialement par défaut : l'animateur introduit une saturation des ressources à travers l'ajout sur les parcelles de plus en plus de pastilles d'activités (agriculture, élevage et cueillette). Ces pastilles sont présentées aux joueurs comme des joueurs fictifs, descendants de ressortissants de la communauté qui auraient atteint l'âge d'initier leurs propres activités, participant ainsi à saturer les ressources disponibles. Dans le second scénario (fermeture de l'espace), la pression est introduite en ajoutant cette fois à la régulation foncière initialement en place d'autres sources de régulation : de nouveaux joueurs fictifs, ressortissants de la communauté, mobilisent pour occuper des parcelles de nouvelles sources de régulation (affectation ou titre, selon le scénario). Des post-it symbolisant ces attributions foncières (jaunes pour les affectations, roses pour les titres) sont déposés sur les parcelles (voir Figure 2), ce qui crée une fermeture progressive de l'espace, et raréfie ainsi la ressource foncière disponible. L'introduction de ces pressions est progressive, en deux temps : 10% d'occupation de l'espace au troisième tour de jeu et 30% au cinquième tour.

De plus, les deux scénarios de pression sont distingués selon que la pression est introduite aléatoirement dans tout l’environnement du plateau de jeu, quelle que soit la nature du milieu, ou qu’elle est localisée au niveau des bas-fonds, les terres les plus fertiles. Il s’agit d’évaluer si plus la valeur d’une ressource est élevée, plus l’intérêt que les différents usagers peuvent porter à la ressource, et donc au besoin d’en sécuriser l’accès, est grand (Platteau 2003).

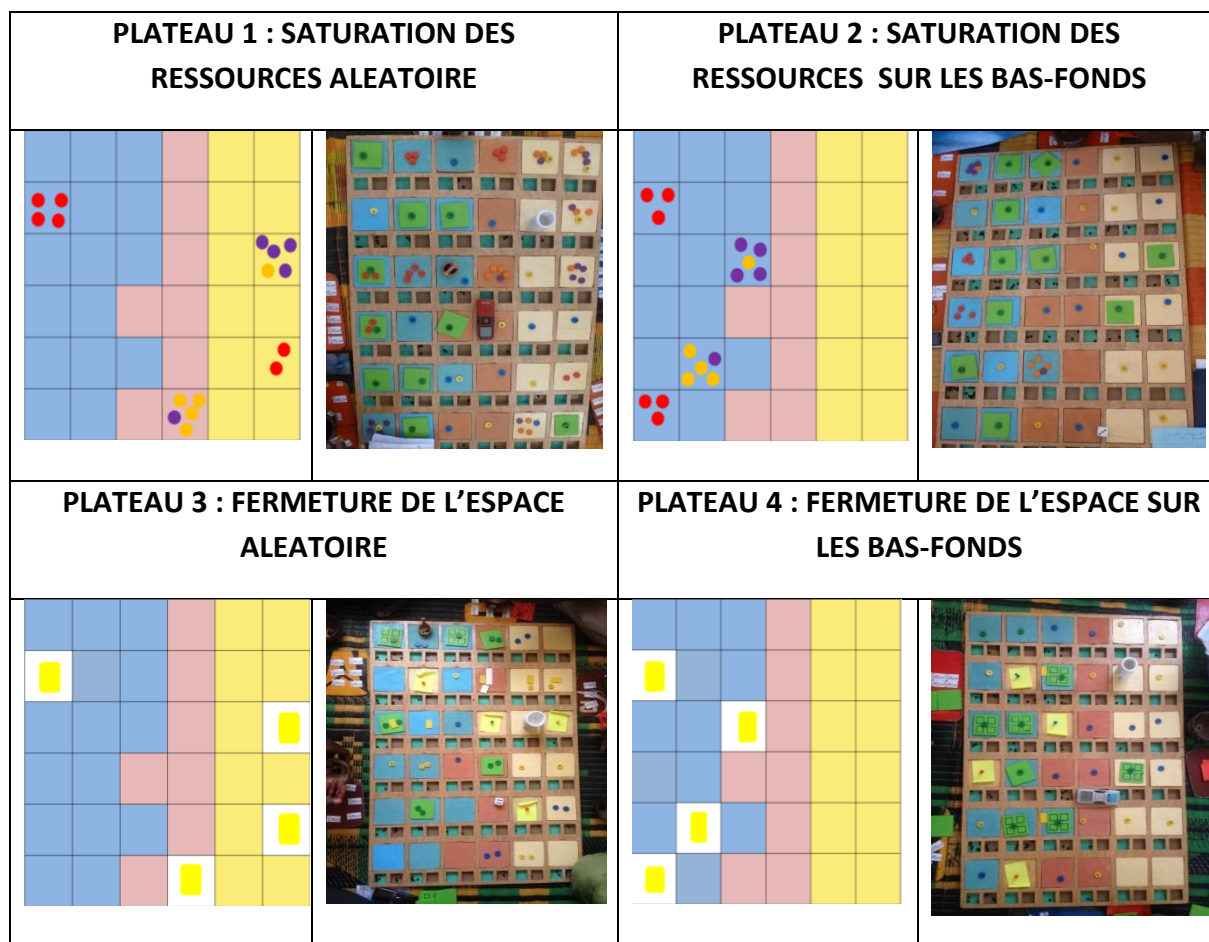


Figure 3: Calibrage de l'introduction (tour 3, 10% d'occupation) de la pression sur l'espace et les ressources

La deuxième cause de perception de fragilisation foncière à tester concerne le niveau d'investissement nécessaire pour l'activité concernée. Des scénarios permettant de tester cette hypothèse sont donc introduits dans le jeu : Dès le tour 2 et la première saison sèche, chaque joueur a la possibilité d'investir dans l'aménagement de points d'eau²¹, qui limitent la forte dépendance à la pluviométrie annuelle en rendant par la même les activités plus intensives. Ensuite au quatrième tour, un forage est implanté sur des terres à faible valeur ajoutée (milieux sableux et dégradés), mais pour lesquelles la nouvelle disponibilité en eau accroît considérablement le potentiel agro-économique, lui conférant une valeur plus élevée, sous réserve de disposer de financement suffisants pour aménager les terres. Enfin, au début du troisième tour de jeu, un scénario « investisseur » est joué : des unités de production (billes) supplémentaires sont fournies à l'un des joueurs, choisi au hasard, ce qui modifie de manière conséquente ses capacités d'investir. On observe à partir de là les décisions que ce joueur prendra pour la sécurisation de son foncier.

²¹ Trois types de points d'eau sont proposés, les plus productifs étant ceux nécessitant le plus d'investissement.

2.3.3. Déroulement global des tours de jeu

Les 5 premiers tours de jeu sont similaires (voir Tableau 1), le seul élément de variation se situant au niveau de la nature et de la localisation de la pression introduite (voir Figure 3). Cette volonté linéarité a pour objectif de permettre de cibler au mieux les facteurs explicatifs des choix de régulation foncière des différents joueurs en fonction des évolutions de leurs contextes de jeu respectifs. Le dernier tour de jeu laisse au contraire à l'animateur de chaque plateau le soin de choisir le scénario de pression/régulation foncière qui sera simulé pour le tour 6, au regard de ce qui est ressorti au niveau de son plateau lors des 5 premiers tours de jeu. Des temps de bilans/débriefings sont pour cela réalisés à la fin de chaque tour au niveau de chacun des plateaux de jeu, pour générer une réflexion collective et une explicitation de la vision des différents joueurs, au-delà de leurs logiques décisionnelles individuelles. Ces temps permettent aux acteurs d'émettre des hypothèses, et de formuler des idées de solutions à ces situations de fragilisations foncières, que l'animateur de chacun des plateaux peut décider d'utiliser comme scénario pour le dernier tour de jeu.

Le choix d'autoriser un dernier tour de jeu ouvert et souple se base sur le double objectif : (1) de permettre à chaque animateur d'explorer de manière plus aboutie les enjeux spécifiques à son plateau de jeu, et les logiques de mobilisation des différentes sources de régulation en conséquence, ces enjeux prenant forme progressivement au fil des tours de jeu en fonction de ce que les joueurs apportent de leurs réalités respectives; et (2) de permettre aux organisateurs, à travers ces temps de débriefings et les potentielles idées de solutions qui en découlent, de recueillir des connaissances complémentaires à celles de l'observation directe des logiques d'action des joueurs lors des 5 premiers tours de jeu.

Tableau 1: Succession des scénarios de jeu (SS = saison sèche / SP = saison des pluies)

| TOUR DE JEU | SCENARIO INTRODUIT |
|-------------|---|
| TOUR 1 (SP) | Introduction de la régulation foncière « tradition » |
| TOUR 2 (SS) | Introduction de la possibilité d'investir dans des points d'eau |
| TOUR 3 (SP) | Introduction d'un joueur « investisseur » (tiré au sort, il hérite de 30 billes additionnelles) Introduction de la pression sur l'espace ou les ressources au niveau des différents plateaux (taux de saturation de l'espace : 10%) |
| TOUR 4 (SS) | Introduction d'un évènement forage, amené par un projet de développement, positionné dans les terres du milieu sablonneux, et rendant permanent l'accès à l'eau (moyennant financement) pour les espaces exploités autour du forage |
| TOUR 5 (SP) | Généralisation de la pression sur les espaces et les ressources au niveau des différents plateaux (taux de saturation de l'espace : 30%) |
| TOUR 6 (SS) | <i>Scénario libre introduit par l'animateur en fonction de l'évolution du jeu sur son plateau</i> |

Le jeu de rôles a été expérimenté dans les mêmes deux zones rurales sénégalaises dans lesquelles les travaux préalables d'entretiens individuels ont été menés. Les deux ateliers participatifs, de 20 joueurs à chaque fois (5 joueurs par plateau), ont été respectivement réalisés dans les villages de Sinthiou Bamambé, dans la zone sylvo-pastorale du Ferlo, et de Guia, dans la partie aménagée et majoritairement irriguée de la vallée du fleuve Sénégal.

L'équipe scientifique mobilisée pour la réalisation des ateliers était la même pour les deux expériences. Les animateurs faisant par ailleurs partie du programme de recherche plus global dans lequel s'insère la présente recherche, ils ont par ce biais pu bénéficier de formations progressives au travail d'animateur, et au processus d'animation de ce jeu de rôles en particulier. Chaque animateur a supervisé le même plateau de jeu pour les 2 ateliers, adoptant les mêmes 5 premiers scénarios de tour de jeu spécifiques (en terme de nature et de localisation de pression introduite) au contexte de son plateau (voir Tableau 1 et Figure 3). Seul le sixième tour de jeu a pu varier d'un plateau à l'autre, et d'un atelier à l'autre.

La sélection des participants à chacun des ateliers a été réalisée par deux partenaires locaux respectivement originaires de chacune des zones rurales où ont été réalisées les deux expériences. Le processus de sélection avait pour volonté de permettre l'expression de la plus grande diversité de perceptions possibles, en étant qualitativement représentatif des différents statuts sociaux et formes d'usage locales. Ainsi a été conviée pour chacune des zones la même pluralité d'acteurs que ceux rencontrés lors des travaux d'entretiens individuels (agriculteurs, éleveurs, agro-éleveurs, allochtones, autochtones, femmes, jeunes, chefs de village, conseillers ruraux...), et leur placement au niveau des quatre plateaux de jeu était orienté de manière à également permettre une représentativité intra-plateau.

3. Résultats

3.1. Résultats de l'atelier en zone sylvopastorale à faible potentiel d'intensification agricole

3.1.1. Propositions de scénarios de jeu au tour 6

Un premier résultat d'atelier concerne le choix de scénarios que les animateurs de chacun des plateaux ont décidé de jouer au sixième et dernier tour de jeu, à la suite des cinq premiers tours similaires. Sur le premier plateau, où la régulation foncière en cours était depuis le premier tour « traditionnelle », l'animateur a choisi de finalement introduire de manière dominante les affectations foncières (taux d'occupation de l'espace : 30%). Sur les plateaux 3 et 4, les animateurs ont choisi de remplacer certaines affectations foncières (papiers jaunes) par des titres fonciers (papiers roses) (taux d'occupation de l'espace en TF: 10%).

Au niveau du plateau 2, les temps de bilan ont donné lieu à des formulations de scénarios par les joueurs à l'issue du processus d'explicitation collective. L'animateur a choisi de s'appuyer sur ces propositions pour le scénario du tour 6. Pour répondre à la démographie grandissante entraînant une diminution importante des rendements et des revenus, les joueurs du plateau 2 ont conclu qu'il devenait urgent de déplacer leurs activités dans des espaces plus hauts avec moins de pressions, même si ces espaces étaient moins fertiles, et de laisser les bas-fonds saturés aux nouveaux arrivants.

3.1.2. Evolution des pratiques d'acteurs en fonction de l'évolution du contexte initial

Les résultats de ce premier atelier (Figure 4) montrent que la régulation foncière locale informelle reste une source de régulation prioritaire, et sécurisante, pour les usagers du foncier, puisqu'ils ne cherchent pas à la modifier dans leurs démarches d'accès au foncier, même en cas de fortes pressions sur l'espace (plateaux 1 et 2). Les joueurs ne considèrent par ailleurs pas ce type de sécurisation comme un frein à l'investissement, quelle que soit l'activité réalisée. Les joueurs investissent ainsi (individuellement ou en s'associant collectivement) dans les points d'eau et dans l'aménagement des terres autour des points d'eau en se contentant de ce type de sécurisation, y compris les joueurs « investisseurs » à qui l'on donne les moyens d'investir de façon plus conséquente.

ATELIER 1

| LOCALISATION DE L'ATELIER | PLATEAU | REPARTITION DE LA PRESSION | TOUR 1 | TOUR 2 | TOUR 3 | TOUR 4 | TOUR 5 | TOUR 6 | SCENARIO DE JEU TOUR 6 |
|---|---------|----------------------------|--------|--------|--------|--------|-------------------|------------------------------|---|
| Sinthiou-Bamambé Zone au faible potentiel d'intensification agricole | 1 | Aléatoire | X | X | X | X | X | X | 30% saturation en Affectations foncières |
| | 2 | Localisée Bas-Fond | X | X | X | X | X | X | Déplacement activités des joueurs sur dunes sableuses et terres dégradées |
| | 3 | Aléatoire | X | X | X | X | X | 4/5 demandent Aff (+ 1/5 TF) | 10% saturation en TF remplaçant Affectations foncières |
| | 4 | Localisée Bas-Fond | X | X | X | X | 4/5 demandent Aff | 5/5 demandent TF | |

FERMETURE DE L'ESPACE

SATURATION DES RESSOURCES

Aff = affectation foncière
TF = titre foncier
X = pas de modification des pratiques d'accès

10% de Pression

Forage

30% de Pression

Pression Additionnelle

Figure 4: Synthèse des résultats de l'atelier de Sinthiou Bamambé

Lorsque la pression sur l'espace et les ressources est juste introduite au tour 3, elle n'entraîne pas de modification des pratiques des acteurs. Lorsque la pression devient maximale au tour 5, les modifications des pratiques sont différentes suivant le contexte qui est proposé aux joueurs : dans les contextes où la régulation « traditionnelle » opère (plateaux 1 et 2) les joueurs ne changent pas de source de sécurisation foncière, même quand d'autres sources, telles que les affectations foncières, sont finalement introduites de manière dominante (plateau 1 tour 6). Les joueurs préfèrent déplacer leurs activités dans l'espace pour essayer d'optimiser au mieux l'usage des ressources au regard de la pression grandissante (stratégies habituelles dans ce milieu difficile). Dans les contextes où de nouvelles sources de régulation foncière deviennent dominantes (plateaux 3 et 4), la plupart des joueurs finissent par demander le type de sécurisation foncière dominant (d'abord affectation, puis titre), avec une réactivité plus grande lorsque ce sont uniquement les terres les plus fertiles qui sont visées par les affectations (plateau 4, tour 5).

3.2. Résultats de l'atelier dans vallée du fleuve Sénégal, zone à fort potentiel d'intensification agricole

3.2.1. Propositions de scénarios de jeu au tour 6

Les résultats de ce deuxième atelier montrent que les temps de bilan collectif entre joueurs n'ont donné lieu à des formulations de scénarios que l'animateur choisit d'exploiter ici encore qu'au niveau du plateau 2. Sur ce dernier le tour 6 prend cette fois-ci la forme d'un déplacement des nouveaux arrivants dans les zones hautes et moins fertiles et d'attribution d'affectations foncières aux joueurs sur les espaces des bas-fonds fertiles. Les participants choisissent ici d'eux-mêmes de mobiliser une nouvelle source de régulation foncière, l'affectation, sans que celle-ci n'ait été introduite au préalable par l'animateur. Dans ce même contexte à l'atelier 1, les joueurs du plateau 2 avaient proposé des stratégies de déplacement des activités dans l'espace pour essayer d'optimiser au mieux l'usage des ressources au regard de la pression grandissante, mais ces stratégies n'incluaient pas de modification des sources de régulation foncière mobilisées.

Pour les trois autres plateaux de jeu, les scénarios du tour 6 ont été directement décidés par les animateurs, et alternent entre l'introduction d'affectations foncières (plateau 1) ou de titres fonciers (plateau 3 et 4) à plus ou moins grand taux d'occupation de l'espace.

3.2.2. Evolution des pratiques d'acteurs en fonction de l'évolution du contexte initial

Les comportements des joueurs sont comparables à ceux du premier atelier, mais les seuils de pression, au-delà desquels les joueurs modifient les sources de régulation foncière mobilisées, sont plus rapidement atteints (Figure 5). Ainsi, tant que l'on ne modifie pas les sources initiales de régulation en place (plateaux 1 et 2), les joueurs investissent et réalisent ici encore leurs activités sans rechercher de source autre de sécurisation foncière. Par contre, dès que la pression foncière change de nature et est portée par des affectations foncières au tour 6, à la différence de l'atelier 1 les joueurs de ces mêmes plateaux choisissent unanimement de les adopter pour répondre à cette pression dominante (plateau 1), voire introduisent d'eux-mêmes cette nouvelle source de régulation foncière (plateau 2).

Par ailleurs, dès que l'affectation foncière est introduite au tour 3 sur les plateaux 3 et 4, elle est cette fois directement mobilisée au préalable de la réalisation de leurs activités par les joueurs « investisseurs », à qui l'on donne les moyens d'investir de façon plus conséquente. Lorsque la fermeture de l'espace via affectations foncières devient dominante au tour 5 sur ces mêmes deux plateaux, l'ensemble des joueurs du plateau font des demandes d'affectations foncières. Et lorsque les affectations foncières sont modifiées en titres fonciers au tour 6, les joueurs optent alors de manière unanime pour cette nouvelle forme de régulation.

ATELIER 2

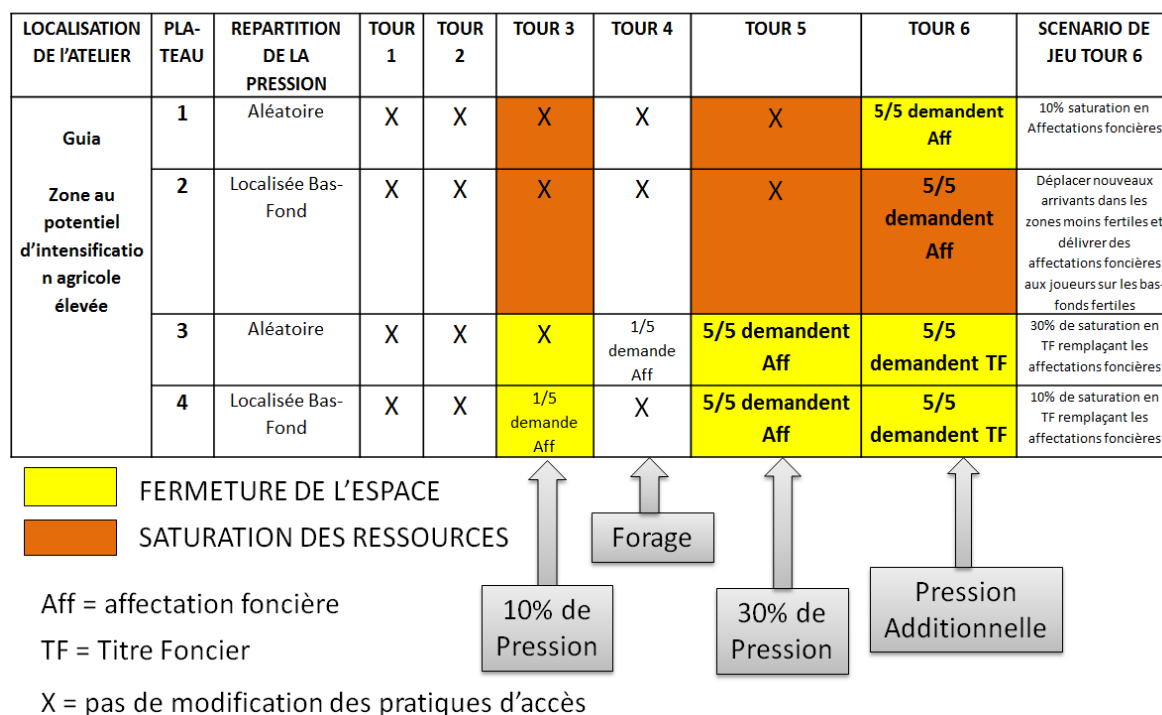


Figure 5: Synthèse des résultats de l'atelier de Guia

4. Discussion

Les résultats de l'expérimentation du jeu de rôles dans ces deux zones rurales aux contextes diversifiés peuvent être rapprochés des réalités foncières observées au préalable dans ces mêmes deux zones lors des travaux de terrain. Dans une zone où les tensions foncières prédominent (atelier de Guia dans la partie irriguée de la vallée du fleuve Sénégal), où la perception de sécurité foncière est déjà fragilisée, et où les sources officielles de régulation foncière telles que les affectations et titres fonciers sont présentes, les participants sont plus réactifs et modifient plus rapidement leurs logiques d'accès aux ressources pour opter pour ces nouvelles sources. A l'inverse, dans les contextes où les sources officielles de régulation ont peu d'emprise (atelier de Sinthiou-Bamambé dans la zone sylvo-pastorale du Ferlo), les sources dites « traditionnelles » de régulation restent un gage de sécurité suffisant pour les acteurs, au point qu'ils investissent dans leurs activités rurales sur la base de ces seuls droits dits coutumiers. Ce dernier résultat va dans le sens de nombreux travaux antérieurs ayant démontré que ni la propriété privée, ni un statut foncier formel ne sont une condition indispensable pour l'investissement des paysans africains (Bruce et Migot-Adholla 1994, le Roy 1995b, Wade 1998, Lavigne Delville 1998 et 2010).

Les résultats mettent en avant qu'en terme de dynamique de mobilisation de ce pluralisme de régulation, les usagers semblent agir en partie par imitation dans leurs logiques d'action, en s'adaptant à la source de régulation foncière prédominante, qu'elle soit officielle ou pas, dans la zone où se situe la ressource dont l'utilisateur nécessite l'accès. La perception de sécurité foncière se ferait donc pour un usager au moins en partie sur la base de ce qui est reconnu par les autres, car cette reconnaissance assure à l'utilisateur une non-contestation de ses droits fonciers (Bruce et Migot-Adholla 1994, Colin et al. 2010, Aubert 2013). Les critères sociaux et la stabilité sociale de l'ensemble du

socio-écosystème font en effet encore grandement partie des processus décisionnels (Golan 1994, Le Roy 1999, Rouchier 2000, Lavigne Delville 2007). Ce principe d'imitation pour une reconnaissance par les pairs peut également expliquer pourquoi dans les contextes où le fait de « sécuriser l'investissement dans son activité par l'obtention d'un papier » est installé dans la réalité des pratiques, cela fait sens pour les usagers et qu'ils mobilisent cette source de régulation foncière en conséquence, là où dans d'autres contextes, cet investissement peut encore se faire sur la base de réalités foncières exclusivement « traditionnelles ».

La nature de ces nouvelles sources de régulation introduites par des politiques foncières (propriété privée, bail, affectation...) ne semble par ailleurs pas avoir de valeur en soi pour les acteurs, ils la choisissent de manière stratégique parce qu'elle semble constituer ce qui sécurisera le mieux leur accès au foncier dans ces nouveaux contextes d'insécurité foncière où leurs pratiques actuelles ne suffisent plus. Ces sources de régulation ne résultant pas initialement des pratiques des acteurs, ils les considèrent en effet avec une certaine distance, et ne les mobilisent que dans les zones où leurs pairs les ont déjà au préalable légitimées dans leurs pratiques d'accès. Cette légitimation semble d'ailleurs viser d'avantage à se protéger contre les effets possibles de ces nouvelles régulations imposées qu'à sécuriser des droits susceptibles d'être remis en cause localement (Barthès 2009).

L'expérience de jeu de rôles conduite ici a donc permis d'apporter des éléments de compréhension sur les critères de choix suivant lesquelles les usagers décident de mobiliser différentes sources de régulation pour accéder au foncier. Sur ce point, les méthodes d'enquête sur la base de jeux de rôles confirment leur intérêt pour autoriser un recueil de connaissances sur les pratiques d'acteurs mis en situation, constituant ainsi un intéressant outil complémentaire aux méthodes d'enquête de sociologie qualitative (entretiens semi-directifs et histoires de vie). Pour espérer monter en généralité dans les résultats observés, l'expérience gagnerait à être reproduite dans d'autres zones rurales du Sénégal (et de réaliser plus qu'un seul atelier dans une même zone). Cela permettrait notamment de réduire les biais potentiellement induits dans toute démarche de jeu de rôles par les jeux de pouvoirs et d'influence qui peuvent s'installer (1) entre participants d'une part, du fait de la diversité de leurs positionnements sociaux, et (2) entre les participants et les animateurs, par la manière qu'ont ces derniers de conduire et orienter le déroulement du jeu, et de la part de leurs propres perceptions qu'ils peuvent inclure (même inconsciemment) dans cette animation (d'Aquino et Bah 2014).

5. Conclusion

La réalité que l'on a cherchée à illustrer et analyser dans cet article est celle d'un pluralisme de régulation foncière « orienté-acteurs », tel qu'existant actuellement dans les ruralités sénégalaises. Les principaux résultats tendent à confirmer qu'au-delà de ce que l'Etat décide de reconnaître comme norme et d'intégrer à ce qui est tenu comme le droit positif de la société, les acteurs du foncier considèrent que les sources traditionnelles de droits existent toujours, tout en ne niant pas que le droit moderne existe aussi. Il en résulte qu'en matière de régulation foncière, les acteurs s'appuient en pratique plus sur un « portefeuille » de sources de régulations dans lequel ils puisent selon le contexte pour sécuriser au mieux leur accès aux ressources, plutôt que sur une seule référence de régulation reconnue et appliquée par tous. En fonction de leurs perceptions respectives, ils se constituent ainsi leur propre portefeuille, ou « puzzle de fonctionnement » en allant puiser les pièces de ce puzzle dans les différents systèmes qui leur sont proposés. Ce puzzle

évolue dans le temps, au fil des expériences vécues et des interactions sociales locales, qui font évoluer la légitimité de tel ou tel système de régulation, ou plutôt de telle ou telle façon d'extraire une règle d'un système de régulation.

Si ce premier travail était particulièrement focalisé sur la pluralité de régulations à propos de l'accès aux ressources (Ribot et Peluso 2003), le concept de pluralisme de régulation tel que nous le proposons englobe toutes sources de régulation de l'accès et de l'utilisation des ressources naturelles, depuis l'accès aux ressources jusqu'aux règlements des conflits sur lesdites ressources (Mathieu 1996, Barthès 2009) et aux mécanismes de contrôle et de sanction (Bertrand et Weber 1995, Babin et al. 1997, Antona et al. 2004). Dans tous ces domaines de régulation, l'acteur puise dans les différentes références de régulation qu'il perçoit exister, les considérant comme des sources plutôt que comme des systèmes globaux de régulation à respecter et intégrer dans leur totalité. Bien que cela puisse être théoriquement incohérent, c'est de cette façon que la plupart des systèmes de régulation concernant le foncier sont en pratique mis en œuvre, d'où notre expression de pluralisme de fait, qu'il est donc utile d'analyser et de tenter de conceptualiser. Cette analyse avait pour but de proposer des pistes de réflexion sur les critères de choix des acteurs, à l'origine du pluralisme de régulation foncière sahélien observé. Dans ces conditions, les potentielles réformes foncières, du Sénégal mais également d'autres pays d'Afrique sahélienne, seront intégrées selon cette logique locale dans les pratiques foncières actuelles des acteurs concernés par ces futures réformes.

Contribution des auteurs

Patrick d'Aquino a conçu le jeu de rôles. Hermine Papazian, Jérémy Bourgoïn et Patrick d'Aquino ont construit le jeu de rôles. Hermine Papazian, Jérémy Bourgoïn et Alpha Bâ ont mis en place et réalisé les ateliers de simulation participative. Hermine Papazian et Patrick d'Aquino ont écrit l'article.

Chapitre 3 : Dynamiser une pluralité de perceptions sur les régulations foncières : un modèle multi-agents focalisé sur les interactions entre usagers et régulateurs pour l'accès aux ressources sahéliennes

Ce chapitre est adapté de l'article de revue :

Papazian H., Bousquet F., d'Aquino P. (2015). Multiple perspectives on land access regulation: an agent-based model of Sahelian users and regulators interactions, *Land Use Policy*, (sous examen)

Synthèse

La gestion des ressources foncières sahéliennes repose sur une pluralité de systèmes de régulation qui mêlent pratiques informelles locales (mais reconnues par les populations) et droit foncier légal. Les usagers sahéliens mobilisent de façon différente, en fonction de leurs perceptions spécifiques et diversifiées, de la situation locale et de l'usage foncier considéré, ces différentes sources de régulation qu'ils considèrent avoir à leur disposition : le fond de régulation locale, la réglementation officielle actuelle et même les réglementations officielles précédentes, aujourd'hui obsolètes. Les différents systèmes de régulation foncière sont ainsi considérés comme de simples « sources » de régulation, potentiellement mobilisables par un usager et donc pas automatiquement appliquées. Le terme de source traduit l'idée que les usagers puisent de façon partielle dans un ensemble de règles et d'instances régulatrices, sans impératif systémique : ce n'est pas parce qu'un usager décide à un instant *t* de mobiliser tel régulateur ou telle règle qu'il embrassera forcément l'intégralité de la logique de fonctionnement du système qui lui est associée. Le pluralisme de régulation résultant de cette situation complexe est également lié aux perceptions spécifiques des différentes instances régulatrices mobilisées par les usagers sahéliens. En autorisant ou non l'accès aux ressources foncières aux différents usagers en fonction de leurs logiques (diversifiées) de gestion, ils assoient leurs rôles de régulateurs au sein de ce pluralisme de régulation et participe ainsi tout autant à son expression.

Sur la base des apports théoriques et empiriques des deux chapitres précédents, ce troisième chapitre propose une formalisation de la complexité d'expression d'un pluralisme de régulation foncière sous la forme d'un système multi-agents, afin de pouvoir le simuler et ainsi l'explorer dans le temps. Les systèmes multi-agents (SMA) offrent la possibilité de prendre en compte et de représenter (i) les logiques d'action individuelles, (ii) l'hétérogénéité, (iii), l'interdépendance entre les acteurs et (iv) la pluralité des niveaux d'analyse. Ils représentent donc un outil méthodologique pertinent pour l'étude des systèmes complexes, en permettant de représenter toutes sortes de structures d'interaction, mais aussi de faire dépendre le comportement des entités (et leurs états internes) de l'état de leur voisinage local ainsi que de la structure globale des interactions. Le système multi-agents ici développé simule ainsi les processus décisionnels (logiques d'action) diversifiés de différents acteurs hétérogènes (usagers et régulateurs) du foncier, aux perceptions

diversifiées, lorsqu'ils interagissent à propos du besoin d'accéder (ou d'autoriser/refuser l'accès) aux ressources naturelles de leur environnement sahélien.

La temporalité du SMA est ici saisonnière, en lien avec la succession de saison des pluies (de Juin à Octobre) et saison sèche (d'Octobre à Juin) constitutive de l'environnement Sahélien. Le système multi-agents permet l'expression d'une diversité de perceptions au niveau des deux entités sociales du modèle « orienté-acteurs » d'un pluralisme de régulation :

- ✓ au niveau des agents régulateurs qui ont en gestion des points d'eaux et des territoires représentant des portions du paysage global, pour lesquels ils distribuent des droits d'accès à l'eau et au foncier en favorisant différents objectifs (économique, social, environnemental) et donc différentes logiques décisionnelles pour la gestion des ressources. Différents régulateurs peuvent avoir en gestion les mêmes portions de territoire illustrant ici le chevauchement de différents systèmes de régulation foncière ;
- ✓ au niveau des agents usagers qui font des choix d'activités conditionnant un besoin en ressources dont ils demandent des droits d'accès aux régulateurs, à travers la mobilisation de différentes sources de régulation, et exploitent en conséquence les ressources pour lesquelles des droits d'accès ont été obtenus. La diversité des perceptions des agents usagers est prise en compte dans le SMA à travers leurs respectives et diverses perceptions de l'espace et la manière dont ils perçoivent en conséquence les ressources de leur environnement et leur(s) régulation(s) ; et à travers leurs respectives et diverses capacités d'adapter les usages qu'ils font des ressources aux caractéristiques des droits d'accès obtenus.

Les résultats des scénarios de simulation du modèle multi-agents développés dans ce chapitre mettent en avant que cette diversité de perceptions de l'espace que possèdent les usagers sahéliens est l'essence d'une expression plurielle et dynamique d'un pluralisme de régulation dans le temps. Quand cette diversité de perceptions s'exprime, une pluralité de sources de régulation coexiste dans les pratiques d'accès aux ressources foncières des usagers sahéliens, et en fonction des simulations chacune de ces sources peut devenir prédominante sans qu'il soit possible de prédire laquelle. A l'inverse quand ces perceptions sont fixées et rendues homogènes, un pluralisme de régulation est encore possible quand ces perceptions de l'espace sont petites (i.e. les usagers ont tous une information des ressources et de leurs régulations qui se limite à leur voisinage proche) mais dès que ces perceptions augmentent on observe la prédominance d'une seule source de régulation foncière dans toutes les pratiques des usagers. La nature de cette source de régulation varie en fonction des caractéristiques des scénarios de simulation, mais une seule prédomine et on n'observe plus d'expression d'un pluralisme de régulation.

Les résultats montrent par ailleurs que l'homogénéisation des perceptions spatiales des usagers peut entraîner une diminution de leurs capacités à accéder aux ressources foncières, car cette homogénéité leur fait solliciter les mêmes ressources au même endroit au même moment et en s'adressant à la même source de régulation foncière. Ces derniers résultats soulignent ici encore que la pluralité de perceptions des usagers sahéliens influe significativement sur l'expression d'un pluralisme de régulation, et qu'elle assure par ailleurs aux différents usagers un meilleur accès aux ressources dans cet environnement aux caractéristiques climatiques et écologiques variables et incertaines. Au Sénégal, les populations ont des perceptions diversifiées car chaque individu est lié à

différents réseaux sociaux et accède donc à différentes sources d'information à différentes distances socio-spatiales.

Enfin, les résultats des scénarios de simulation exploratoires réalisés dans ce chapitre introduisent le fait que les caractéristiques d'introduction d'une nouvelle régulation foncière dans un pluralisme de régulation semblent influencer sur la manière dont cette nouvelle régulation sera intégrée dans les pratiques foncières des usagers sahéliens. Les simulations mettent ainsi en avant qu'une nouvelle régulation foncière sera plus susceptible d'être intégrée aux pratiques foncières des usagers quand elle est introduite de manière disséminée dans l'environnement plutôt que dans une zone spécifique localisée. En effet, la diversité de perceptions des différents agents usagers font qu'ils auront plus de probabilité de percevoir un changement dans les régulations foncières mobilisées par les autres usagers si ce changement arrive dans leur voisinage local, que s'il arrive dans une zone très éloignée de leur propre localisation. Au Sénégal, les politiques foncières sont souvent intégrées aux pratiques locales des usagers sahéliens uniquement dans des zones spécifiques et localisées dans le pays. Ainsi accéder aux ressources foncières par l'obtention d'un « papier » est installé dans la réalité des pratiques locales uniquement dans des zones au fort potentiel agro-économique, à proximité d'une ressource en eau (comme c'est le cas de partie irriguée de la vallée du fleuve Sénégal), où les projets de développement, l'Etat ou les collectivités locale ont pu chercher à les introduire, mais n'existe pas dans la grande majorité des pratiques foncières des usagers des zones semi-arides sahéliennes (dont la zone sylvo-pastorale du Ferlo fait par exemple partie).

1. Introduction

In much of the Sahel, official land, natural resource and water regulation systems have developed with very little coordination, and often in different directions. But from the Sahelian actors' perspectives, these different resources are still inseparably linked, thus allowing them to carry out their livelihood activities. The Sahelian zone is indeed characterized by extreme ecological and climatic spatial variability and uncertainty. Consequently, the level of available resources (such as water, soil fertility, fodder, non-timber forest products (NTFP), etc.) varies widely according to the local rainfall conditions (rainfall is monomodal, falling mainly between June and October) and the topography and soil fertility. Overall, this leads to a very dispersed, heterogeneous and unpredictable distribution of environmental conditions over the years and within a given year.

Sahelian inhabitants have lived in this setting for centuries and have forged territory management regulations tailored to this extreme variability and uncertainty (Ellis et al. 1988, Mehta et al. 1999). With land rules and a social organization that is conducive to high spatiotemporal mobility of people and activities (especially pastoral transhumance) (Behnke and Scoones 1992), and to collective appropriation of these resources (Berkes et al. 1989, Ostrom 1990), it is possible to take advantage of the best of this variability by searching for and exploiting the best environmental conditions depending on their temporal location. Local land regulations applied in the Sahel are temporally flexible and dynamic and thus favorable for multiple uses (Gallais 1977, Le Roy et al. 1996, Mwangi and Dohrn 2008). Choices of activity are indeed linked to a flexible resource exploitation system based on the integration of multiple periodic, seasonal, or annual activities (several types of farming combined with several types of livestock farming, harvesting, etc.).

In parallel to this already complex land tenure situation, land tenure policies formulated by Sahelian States, which do not recognize these local regulations, implement land tenure and ownership approaches that are so different to the existing land regulation sources that they did not replace them (Mwangi and Dohrn 2008). Land tenure patterns in rural areas in the Sahel thus show that these policies have actually increased the existing complexity (Bruce and Migot-Adholla 1994, Platteau 1996, Mehta and Leach 1999, Weyland 2007, Cotula 2007). Indeed, rather than abandoning their practices, local populations have added the successively implemented land tenure policies to their conventional regulatory mechanisms. The various present or past policies are thus interpreted and used—or not used—according to stakeholders' needs and perspectives, who apply their own rationales (Mehta and Leach 1999, Cotula 2007).

Land resource management is therefore built on several overlapping land regulation systems, where numerous regulators intervene. Sahelian users mobilize—in different ways according to the local situation and current land use situation—the different regulation sources that they consider are available (Metah et al. 1999). Depending on the individual situation and planned type of land use, they make reference to different sources of land tenure regulation (von Benda-Beckham 1981, Cleaver 2002, Meinzen-Dick and Pradhan 2002). The pluralism (Griffiths 1986, Le Roy 1996, Platteau 1996, Meinzen-Dick and Pradhan 2002) of land regulation resulting from these local practices is an informal but lasting feature. It does nevertheless cause some uncertainty (Metah et al. 1999, Mwangi et Dohrn 2008) that is difficult to grasp—different stakeholders claim rights to the same land by referring to different regulatory sources. The numerous regulators are also taking part in this land regulation pluralism through their own perspectives on how land resources should be managed

(Axelrod 1976, Sabatier 1987, 2007, Janssen and de Vries 1998, Weyland 2007, Barthès 2009, McNeill et al. 2014).

The aim of this article is to formalize and understand this complex reality by exploring, via an agent-based model, the role played by this diversity of user and regulator perspectives in the expression of land regulation pluralism. Exploring the knowledge and perspectives underlying individual decision-making and behaviors in the area of land-tenure and land-use decisions is essential to avoid false assumptions in our understanding of human-environment interactions (Anderies 2000, Bossel 2000, Parker et al. 2003, Mathews et al. 2007, An 2012, Wandersee et al. 2012). We focus particularly on the expression of the pluralism of land regulation sources when stakeholders interact for land resource access (Ribot and Peluso 2003), but this pluralism encompasses all land regulation sources from the access to conflict settlement mechanisms (Mathieu 1996), controls and sanctions (Babin et al. 1997) regarding land resource use and management.

The paper is organized in four major parts. In the first part, we present our conceptual and modeling approach. In the second part, the implemented agent-based model is described. The agent-based model simulates the diverse decision-making processes (i.e. the rationales) of different land actors (users and regulators) when they interact for land and water access and use in a Sahelian environmental context. In the third part, we provide some details on the verification and validation process of our model. Finally, we describe and discuss the results of a set of scenarios simulated with our model. The simulated scenarios explore the introduction of new land regulation sources to the complexity existing by default, with regards to diversified perspectives of land regulators and land users. The simulation results seem to confirm that the diversity of perspectives of Sahelian land actors (users and regulators), when they interact for access to water and land resources, plays a key role in the integration pattern of a new land regulation in a Sahelian environment.

2. Conceptual and modeling approach

2.1. Use of an agent-based model

Natural resource management systems as complex adaptive systems (Eptsein and Axtell 1996) are characterized by their dynamic interdependencies across various spatiotemporal and social scales and are driven by nested hierarchies, irreducible uncertainty, multidimensional interactions and emergent properties (Janssen et al. 2000, Berkes et al. 2003, Rammel et al. 2007, Robinson et al. 2007). Agent-based models (ABMs)—since they offer a way of taking actor heterogeneity, social interaction and interdependence, adaptation, and decision-making at different levels into account—have emerged in land and environmental science as a way to better capture complex characteristics of social–ecological systems (Bousquet et al. 1996, Epstein and Axtell 1996, Berger 2001, Parker et al. 2003, Mathews et al. 2007, Rammel et al. 2007, An 2012, Filatova et al. 2013).

Ecologists and geographers seem to predominate in socio-ecological systems related ABM work (Grimm 1999, Parker et al. 2003, Verburg and Veldkamp 2005, Castella et al. 2005, Railsback et al. 2006, Bert et al. 2011), but social sciences also play a crucial role in their attempt to use ABMs to assess and explain the complexity of human decision-making processes and behaviors (Schelling 1971, Epstein et al. 1996, Simon 1997, Janssen et al. 2000, Janssen and Ostrom 2006, Robinson et

al. 2007). We therefore opted to develop an agent-based model to support our assessment of land regulation pluralism and to help formalize our conceptualization of the diversity of stakeholders' perspectives.

2.2. A 'stakeholder-oriented' framework analysis

Beyond what the State decides to recognise as a standard and incorporate in the legal corpus of society, land tenure stakeholders consider that there are still different sources of land regulation for accessing Sahelian land resources. The present research approach led us to consider the various regulation systems as simple 'potential' sources of regulation. The term 'source' carries the idea that users make partial use of a set of rules and regulatory authorities with no systemic approach. It is not because a user decides to use a particular authority or rule that he/she will necessarily adopt the entire functioning and rationale of the system with which it is associated. Local stakeholders construct their own 'operation puzzle' by taking pieces for this from the different systems available to them. The puzzle changes over time according to experience and local social interactions that modify the legitimacy of one regulation system or another, or rather of such and such a way of drawing a rule from a regulation system. The gathering of the different puzzles resulting from this diversity of local stakeholders' perspectives leads to the expression of 'stakeholder-oriented' pluralism of land regulations.

Each local stakeholder therefore relies, for his/her Sahelian resource uses, on a dynamic puzzle or 'portfolio' of land access rights resulting from his/her interactions with different sources of land regulation. In order to describe the multiple forms of land rights resulting from this flexible and dynamic (Gallais 1977, Le Roy et al. 1996, Mwangi and Dohrn 2008) pluralism of land regulations, researchers have focused on a 'bundles of rights' approach (Schlager and Ostrom 1992, Le Roy 1996, Mehta et al. 1999, Ribot and Peluso 2003, etc.), allowing identification of 'operational rights' (dealing with land use) and 'administration rights' (dealing with the management of these operational rights, their distribution, conflict settlement, sanctions, etc.). The 'bundles of rights'²² concept is based on the idea that there is not one right on land resources, but rather numerous rights (to use, administer, transfer, etc.) on various resources (land, trees, forest products, water, etc.), and that these rights may be claimed by various users (individual or collective) under the control of different authorities.

These land rights can be available year round, or only over a certain period (e.g. a usage right that applies only during the dry or the rainy season) and for a certain duration, from the cropping season up to several years (e.g. a user can benefit from a right to use a land only during rainy season throughout his/her life). Access rights can be free, or linked to a certain monetary or non-monetary cost (gifts, labor force, sharecropping, loan, rent, etc.). The nature of the land right, what it allows, its cost and duration, and a set of other criteria help to constitute a specific land tenure security perspective for each Sahelian user, which determines his/her choice of rural activity in relation with the act of investment that he/she can consider. Indeed, the land tenure security perspective can be affected by the nature (and the need of investment) of the rural activity performed (Bruce and Migot-Adholla 1994). For example, an oral periodic right to use a piece of land only during the rainy season can be considered safe enough for extensive cropping (millet, sorghum, maize, fonio, etc.),

²² A bundle of rights can include: access rights; rights to use; rights to earn income from the use; rights to invest in the use; rights to delegate land use temporarily or without specific terms, in marketable (rent, sharecropping) or non-marketable terms (loan); the right to pledge; and the right to definitively alienate, through a marketable transfer (sale) or donation.

but not for more intensive cropping (groundnut, fruit trees, market gardening, etc.). In this approach, land tenure security is therefore considered as a feeling resulting from a dynamic process which changes and adapts itself to the conditions of a given context (Le Roy 1999).

This stakeholder-oriented pluralism of land regulation takes a dynamic and differentiated spatiotemporal form depending on what provides the best security for land tenure (Bruce and Migot-Adholla 1994, Le Roy 1999, Cotula 2007) for Sahelian users in a given context. Indeed, a user may at least partially base his/her land tenure security perspective on the ways other users already exploiting the areas that interest him/her have obtained their own land access rights. Here the security is based on recognition by the other users, because this recognition implies a lack of questioning of his/her own resource access rights (Bruce and Migot-Adholla 1994). Users therefore adapt themselves to the land regulation source (whether it is formal or informal) that prevails in the rural zone where the land resources for which they require access are situated. This prevalence of a land regulation source could be defined as the source of regulation that is most mobilized by users in the area who are already exploiting the concerned natural resource. The prevalence is therefore associated with the nature of the rural activity users want to undertake (because this choice of activity defines the natural resource needs, e.g. soil fertility if a user wants to farm, fodder if the user is a livestock farmer, NTFP if he/she wants to harvest, etc.). In the same rural zone, several land regulation sources can overlap according to the activities (with different resources concerned). Some farmers of the area can, for example, mobilize an official body such as a local community (or the State) in order to obtain a land allocation (or land title) for their land, while at the same place and time rangelands for livestock farmers are still managed by oral agreements delivered by customary headmen, with no recognition under the official land policy.

2.3. Conceptual model

Modeling is a process that involves an iterative observation, modeling, prediction, and testing cycle. The best way to empirically inform an ABM is to use a combination of approaches (Castella et al. 2007, Robinson et al. 2007). In this regard, our modelled conceptual framework results from a combination involving a bibliographical review and a field experiment through two regional case studies in Senegal, a Sahelian country. The field experiment was conducted in two parts. First, we conducted 300 individual semi-structured interviews within two rural areas in Senegal (Ferlo silvopastoral area and the developed part—mostly irrigated—of the Senegal River valley) in order to gather information from a qualitatively representative sample of the resident population (crop farmers, livestock farmers, natives, non-natives, men, women, young and old users, land and natural resource users and authorities who manage the resources, i.e. family chiefs, village leaders, members of rural councils, State officials, members of civil society, etc.). The aim of these interviews was to regularly update knowledge obtained from a literature review so as to ultimately highlight the complexity of Sahelian land and natural resource use and regulation through a representation of the great diversity of actors' perspectives. The two rural areas were considered to be representative of the national diversity in terms of issues, tensions and uses that could be made of the land. The two zones differed in their degree of integration of intensive farming and in the extent of official sources of land tenure regulation in users' land access practices.

Then, a role-playing game was conducted and tested in these two rural areas to assess the reality and conditions of the local mobilization and use of the different sources of land tenure regulation. Two participating workshops, each with 20 players (5 players per board) were set up in the villages of Sinthiou Bamambé in the Ferlo silvopastoral area and Guia in the the Senegal River valley. Role-playing games can help elicit stakeholders' representations and go beyond conventional inquiries where the lack of trust between the interviewer and the interviewee may result in imprecise or inaccurate information (Castella et al. 2005, Gourmelon 2013). By repeating the RPG in different environments, it is possible to capture the diversity of local situations and study local trajectories of changes in land use (Castella et al. 2005). The rules that govern the decisions made by individual agents are then incorporated into the model by observing the players' behavior (Bousquet et al. 2003).

The temporality of the agent-based model is seasonal, linked to the succession of Sahelian rainy and dry seasons. Throughout the field experiment, the focus was on the 'users (operational rights) - regulators (administration rights)' duality previously introduced by the 'bundles of rights' concept (see 2.2). The agent-based model thus allows the expression of a diverse range of perspectives for the two social entities of the model, which are:

- the regulators, who manage water sources and territories within the global landscape, for which every season they allocate land or water access rights according to different land management objectives, leading to different rationales (see Figure 6). Different regulators can have similar, complementary or overlapping administration rights on the same portions of territory, thus illustrating the distinction between various land regulation systems;
- the users, who every season choose activities requiring water and/or land resources for which they choose to interact, according to their specific perceptions on land resources and regulations, with different regulation sources in order to obtain access rights. According to the regulator's response, each user constitutes a portfolio of access rights on resources that will determine the final choice of activities. Implementation of these final activities leads to consumption of the resources of the land plots and the water sources for which access rights have been obtained (see Figure 6).

The agent-based model developed in this study of a stakeholder-oriented pluralism of regulations regarding the use and management of Sahelian natural resources specifically assesses how this diversity of actors' (users and regulators) perspectives plays a key role in the practical application pattern of new land regulations in a Sahelian environment. According to our stakeholder-oriented framework analysis (see 2.2), changes in users' land regulation mobilization practices will pass through changes in their perspectives of land tenure security linked to the concept of the prevalence of a land regulation source for a given resource in a given context. Under these conditions, a new land regulation will be really effective only in the rural zones where it becomes a way of accessing natural resources involved in the users' practices in the concerned zone.

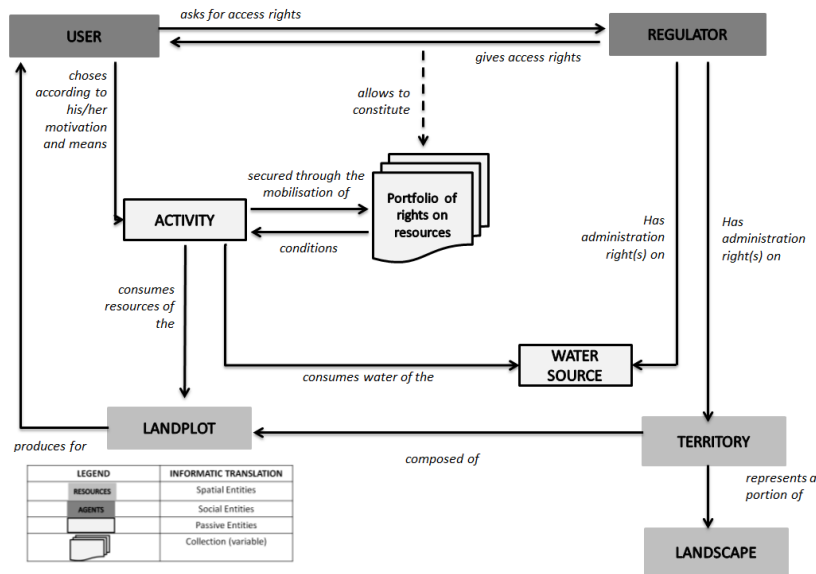


Figure 6: Conceptual model of the entities' interactions

3. Implemented model

The model is briefly described here, but a more detailed version allowing a potential replication of the agent-based model can be found in an online version²³. The CORMAS platform²⁴ used for the model construction was specially developed by CIRAD for simulating natural resource management and is oriented towards the representation of interactions between stakeholders on natural renewable resource use. We describe the entities of the model, then the simulation settings and the observed indicators.

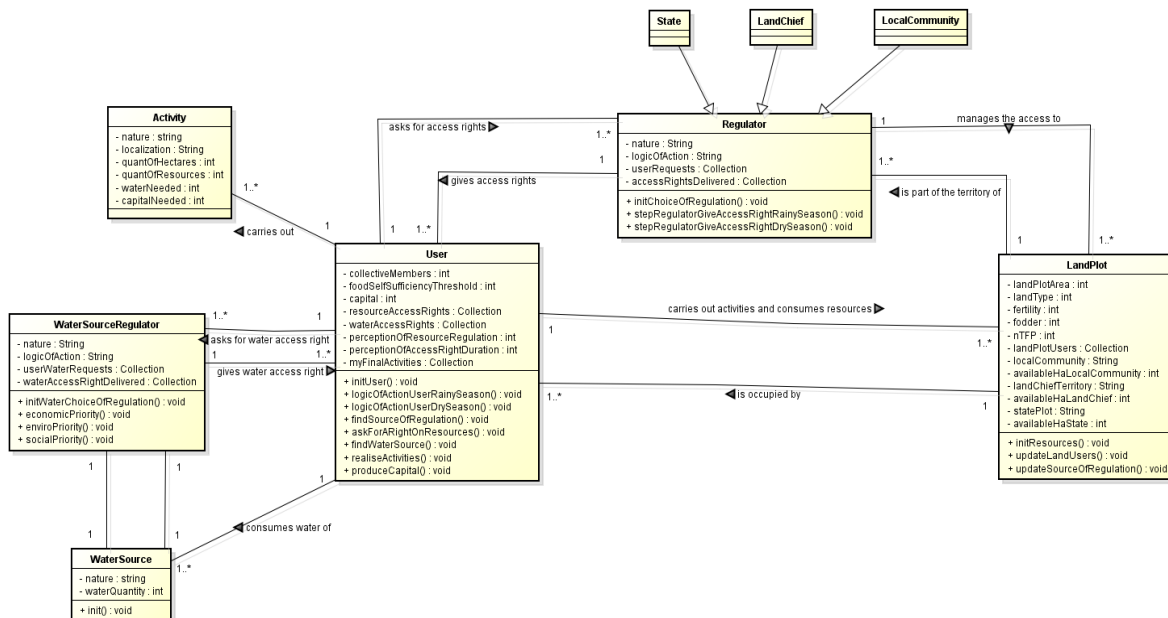


Figure 7: UML class diagram of the agent-based model

²³ DOI : 10.13140/RG.2.1.1121.8400

²⁴ <http://cormas.cirad.fr/>

3.1. Entities of the agent-based model

The entity descriptions are structured by the ontology of the CORMAS platform, which categorizes three types of entities: spatial entities describing the space at different aggregation levels, passive entities, which are objects that can be manipulated by social agents, and social entities which can make decisions, move, and interact with other agents.

3.1.1. *Spatial entities*

The model environment consists of spatial entities called land plots (Figure 7), which can involve different land types: lowlands, intermediary sandy areas and degraded lands. Each land plot, of a certain area (in hectares), contains a set of variables on natural resources: fertility, fodder, and non-timber forest products (NTFP). The initial resource quantity is the same for each type of resource on a land plot, but differs from one land plot to another according to the nature of the land type (n.b. lowlands are the most fertile areas, where the highest quantity of resources may be found). The quantity of each natural resource on each land plot is then updated after each rural activity which consumes it and at the beginning of each rainy season during which natural resources are partially or totally replenished. Each land plot possesses a variable which informs users who have ongoing resource access rights on the land plot, and especially from which regulator(s) the different user agents received those access rights.

3.1.2. *Passive entities*

Water sources

There are various water sources in the agent-based model (Figure 7): dug wells, drilled wells and ponds. Dug and drilled wells are permanent water sources, managed by water regulator agents. Ponds are temporary water sources which appear only in the rainy season (the number of ponds created will vary according to the extent of the rainfall). Access to the ponds is free and does not require negotiations with any regulator for access. According to their nature, water sources have different available quantities of water. This value is then updated, like other natural resources, after each rural activity which consumes water and at the beginning of each rainy season when water sources are partially or totally replenished.

Activities

Activity is considered as a passive entity that social entities can reflect upon. According to the amount of capital they possess, user agents can have up to six possible choices of activity (Figure 7): intensive farming, extensive farming, intensive livestock farming, extensive livestock farming, intensive NTFP harvesting, and extensive NTFP harvesting. These activities require a varying amount of initial input investment, with a varying extent of natural resource consumption and consequently final production. This concerns a varying number of available hectares on a land plot (for which the user agent has ongoing access rights). This can be associated with the water resource in order to improve the yield of already intensive farming or harvesting activities (which then become intensive irrigated activities). Water is required for livestock farming activities (a user agent cannot carry out these activities without water), or for any rural activity during the dry season (a user agent with no

water access right will not be able to conduct activities at this period of the year). Apart from this potential water consumption, the nature of the resource consumed on the land plot varies according to the nature of the activity: crop farming activities consume the fertility of the land plot, livestock farming activities consume the fodder and harvesting activities consume NTFP resources.

3.1.3. *Social entities*

User and regulator agents interact within this agent-based model for the negotiation of water and land resource access rights²⁵. According to their specific perceptions, user agents make water or land rights requests to regulator agents by asking for a specific area (in hectares) on a specific land plot (or a specific water quantity for a specific water source) resulting from the choice of activity they are planning to carry out. This choice of activity also determines users' requests for a specific nature of access right: right to use (if users plan to undertake extensive activities) or right to invest in the use (if users plan to undertake intensive activities). The agent-based model focuses on these two levels of bundles of rights because it represents two forms of already highly differentiated area appropriation, which impact users' investment decision. Indeed, all user agents respect what the nature of the access right allows them to carry out. Intensive activities requiring substantial initial investment are considered only by users with rights to invest in the use. Thus if at the end of the interactions with regulators the users find themselves with simple rights to use, they will reconsider their choices to opt for extensive activities. Indeed, according to their own specific land management objective, regulators will choose to comply with the users' wishes, or decide themselves on the water quantity or land plot to be allocated, including the surface area and purpose (to use only, or right to invest in the use).

Regulators

The generic Regulator class is specialized in three possible of regulator agent classes (Figure 7), corresponding to three regulation sources existing within the pluralism of land regulations for securing access to resources:

- land chief agents, representing the weight of tradition,
- local community agents, representing the decentralization policy,
- the central state agent

Each regulator agent (land chief, local community and state) possesses a set of land plots on which he/she has an administration right. For land chief agents, this represents their respective land territories, while for local community agents this represents the decentralized territories they are mandated to manage. The state agent (only one agent of this type created) always manages the whole territory, known as the state domain. Each land plot has attributes which link it respectively to a local community agent, a land chief agent and the state agent, who are in charge of managing it by allocating resource access rights on a certain portion of the available land plot hectares. Different regulator agents can therefore have the same land plot to manage on their respective territories, which illustrates the overlap of land regulation systems. Hence, several users can ask for an access right to the same area and for the same resource, according to the regulation source they choose to

²⁵ Further information on the rationale of the social entities will be illustrated later in Figure 8 and 9.

mobilize. We will potentially find, in the agent-based model, three user agents striving to exploit the resources of the same surface area on the same land plot, for one given by a land chief agent, for another by a local community agent, and for a third by the state agent. This type of conflict is treated at the end of interactions between users and regulators through a random selection among the claims.

The diversity of regulator agent perspectives is taken into account in the ABM through the objective (economic, social, environmental conservation or environmental restauration) that the regulators choose to prioritize for allocating access rights. This objective will define their rationale (Table 2). Each regulator agent with his/her specific rationale manages, for every season, the resource access rights on the land plots of his/her territory by allocating resource access rights on his/her land plots to user agents. The value of the components of a resource access right (nature of the land right, surface area, period, duration, access price) also depends on the land regulator's rationale (Figure 8 and Table 3).

Table 2: Synopsis of the regulator's different choices of rationale

| Objective | Rationale |
|----------------------------|--|
| economic | The focus for allocating resource access rights is here on users' capital, regulator agents' ranking requests of users with the highest capital |
| social | The focus for allocating resource access rights is here on users themselves. A regulator agent with this rationale will adapt his/her access authorizations to the certainty that all the requesting users have at least one resource access right |
| Environmental conservation | The focus for allocating resource access rights is here on the conservation of the environmental state of the resources. A regulator agent with this rationale will close access to the land plots of his/her territory where the state of the resources is the best so as to ensure their environmental sustainability |
| Environmental restauration | The focus for allocating resource access rights is here on the restauration of the environmental state of the resources. A regulator agent with this rationale will close access to the land plots of his/her territory where the state of the resources is the worst, to enable their faster and better reconstruction. |

Water regulators

Each water regulator agent created in the agent-based model manages one water source (dug or drilled well). Like the land regulators, he/she regulates, for every season, the water access rights on his/her water source, using his/her own rationale, while respectively prioritizing economic, social or environmental objectives. The water access rights water regulator agents finally decide to distribute consist of a certain quantity of water, for a given duration, and at a given cost also depending on the water regulator's objective (and therefore rationale).

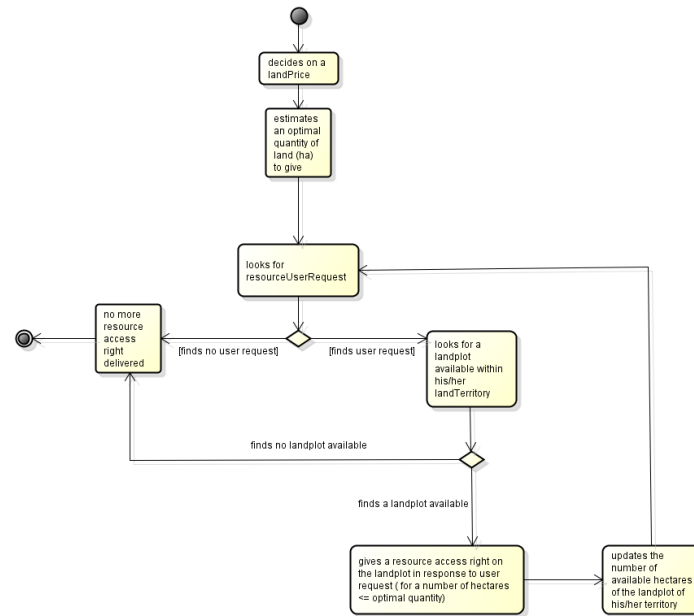


Figure 8: Activity diagram of the land regulator agents. At the beginning of every season, a regulator agent decides on his/her land price for the season according to the initial objective (see Table 3). He/she also decides on an optimal surface area of land plot(s) to allocate according to his/her objective (see Table 3). Then he/she selects a user request. If the objective is economic or social, a specific user will be chosen (see Table 2). If the objective is environmental, the selection is random. If he/she finds a user request, he/she will search within the land plots of the territory if there are still available hectares to allocate. If the objective is environmental, the selection of land plots will be specific (see Table 2). If the objective is social or economic, the selection will only depend on the number of hectares still available on each land plot. If the regulator agent finds a land plot available, he/she decides on the nature of access right, a duration and period for the access right (see Table 3) while giving the user agent a final resource access right consisting of these different elements. He/she then again selects another user request, and reproduces these actions until (1) there are no user requests left or (2) there are no more available hectares to allocate on the territory.

Table 3: Components of a resource access right according to the regulator agent land management objective

| Components of a resource access right: | Social | Economic | Environmental conservation | Environmental restoration |
|---|--|---|---|--|
| A nature of resource access right | Randomly chooses between a right to use and a right to invest in the use | | | |
| A surface area , in hectares, localized on one or several land plot(s) | (Total size of the regulator territory) / (number of user requests) | Value of the initial user request | (Number of land plots of the regulator territory with low fertility) / (Number of users of the regulator community) | (Number of land plots of the regulator territory with high fertility) / (Number of users of the regulator community) |
| A period | Randomly chooses between: dry season, rainy season and annual access right | | | |
| A duration | Randomly chooses between a range of short to long-term duration #(1 1 1 1 2 2 2 2 6 6 10 20 30 100) ²⁶ | | Randomly chooses between a range of short-term duration: #(1 1 1 1 2 2 2 2 6 6) | |
| An access price | Allocates only free lending | Randomly chooses between a range of unit prices: #(5 10 20 50 100) | Randomly chooses between a range of unit prices: #(0 5 10) | |

²⁶ For the complete process of parametrization, see the supplementary material on the online version, DOI : 10.13140/RG.2.1.4745.0089

Users

In the agent-based model, user agents (Figure 7) represent rural families composed of varied numbers of members, therefore with a more or less high food self-sufficiency threshold and amount of capital (this last variable symbolizes pooling of the physical capital, human capital and financial capital). The diversity of user agents' perspectives is taken into account in the ABM, through:

- their respective individual spatial perceptions of resources and their regulations. This variable defines the range of land plots and water sources user agents perceive, allowing them to determine where the water sources and land plots with the highest quantity of resources are located, and by which regulator agents these resources are managed;
- their respective individual perceptions of what is a good access right duration. For any right to invest in the use, if the duration of the access right delivered by the regulator drops below the value of this perception of access right duration, the user will consider the investment too risky, and will opt for extensive activities.

For every season, user agents adapt their choices of rural activities and update their portfolio of land access rights according to the result of their interactions with water and land regulator agents. Figure 9 shows the decision-making process for the rainy season (the dry season is similar, apart from the fact that a user with no water access will not be able to conduct rural activities at all, as any activity necessarily requires water in this period of the year).

3.2. Simulation settings

The general environment of the agent-based model aims to represent a region (a set of local communities). This spatial scale was chosen because it represents the same scale as the previous field experiment through the two regional case studies in Senegal. We set the land plot area of each land plot at 50 hectares, for a total number of land plots of 900²⁷. This proportion was set to control the number of land plots of each land type created. For our simulation set, the proportion of each land type was equal (300 of each) and randomly distributed within the environment in order to highlight the variability within this Sahelian environment. User agents represent more or less important rural families (see Table 4). The idea is to represent the diversity of production means that different Sahelian rural families can possess. The diversity of user agents' perceptions of resources and their land regulations reflects the idea that the level of information about land regulations that land actors possess substantially varies from one user to another, i.e. some of them have a perception that only extends on their village or their land territory, whereas others will know what is happening throughout the region (i.e. the total environment of the agent-based model).

²⁷ the total area of the environment is therefore 45 000 hectares (450 km²)

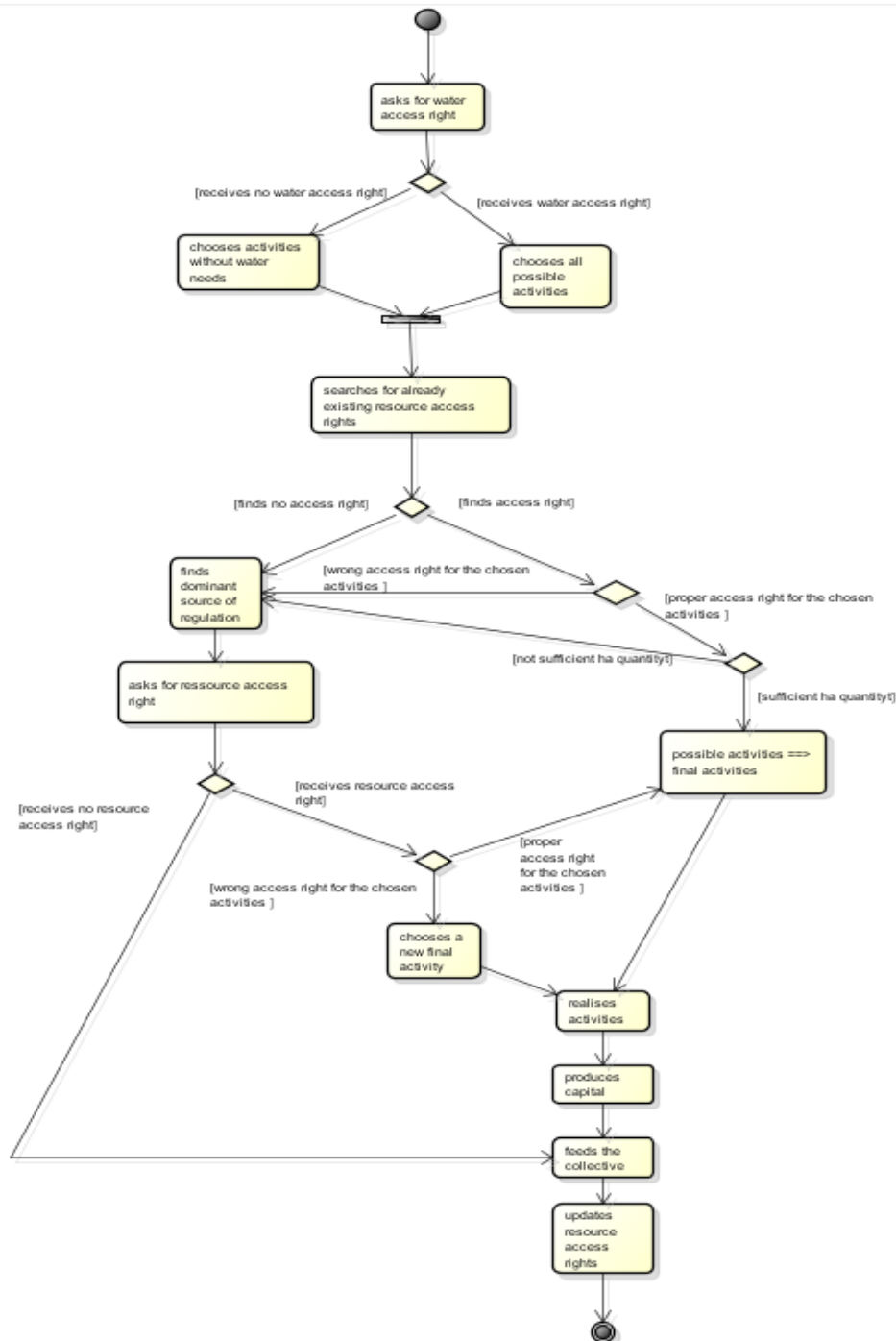


Figure 9: Activity diagram of the user agents during the rainy season. The availability of water access rights lasts only one season in the agent-based model, so user agents have to ask for new water access rights at the beginning of each season. For resource access rights, a user agent always begins by consulting his/her portfolio of resource access rights to know (1) if he/she already has available resource access rights, and (2) if these rights are suited and/or sufficient (in terms of the number of hectares, for example, or of the nature of the access right) with regard to the planned activity. If his/her portfolio of resource access rights is empty, unsuitable or simply insufficient, the user agent can ask for a new resource access right and by doing so enter in interaction with a source of land regulation. A user who wants to access a resource will send a request to the prevailing land regulator linked to each land plot he/she has found. This prevalence of a land regulation source is defined as the source of regulation which is the most mobilized by users of the land plot already exploiting the concerned natural resource. According to the sources of land regulation mobilized and to the return (favorable or unfavorable) of the land regulators, the user agent ends up with an updated portfolio of resource access rights that will determine his/her final activity decision and the resulting consumption of natural resources. Part of the production serves to satisfy the food needs of the family, village or group of villages (according to the nature of the user agent), and the potential surplus is put back into the users' capital for the following step, or season. At the end of each season, user agents update their portfolio of resource access rights by removing the rights that have expired.

At initialization, the overall environment of the model is divided into land territories managed by default by different land chiefs (representing the historical context, the weight of tradition). The created user agents are initially randomly localized in the model environment, and thus attached to a land territory (linked to a land chief agent), a local community (linked to a local community agent) and to the state domain (the state agent knows all the users). Water sources are initially (for dug and drilled wells) or at each beginning of rainy season (for ponds) randomly localized in the environment (see Figure 10). Each water regulator agent randomly chooses an objective and therefore a rationale.

Table 4: Calibration of the initialization for our set of simulation scenarios

| Number of entities created | | | |
|--|---|-----------------|--------------|
| Number of state agents and their territories | 1 | | |
| Number of local community agents and their territories | 5 | | |
| Number of land chief agents and their territories | 20 | | |
| Number of dug wells and their water regulators | 100 | | |
| Number of drilled wells and their water regulators | 30 | | |
| Number of pond | Good rainfall | Medium rainfall | Bad rainfall |
| | 30 | 15 | 10 |
| Number of user agents | 1000 | | |
| Value of the user agent variables | | | |
| Number of collective members for one user agent | Randomly chosen between 100 and 200 | | |
| Perception of access rights duration for one user agent | Randomly chosen between 2 and 10 | | |
| Perception of resources and their regulations for one user agent | Randomly chosen between 1 and 15 | | |
| Capital for one user agent | Each collective member of the family has an individual capital value chosen randomly among a range of individual capital values (1 5 10 20 50 100 500), and the final initial capital of the user agent is the sum of the various individual capitals | | |

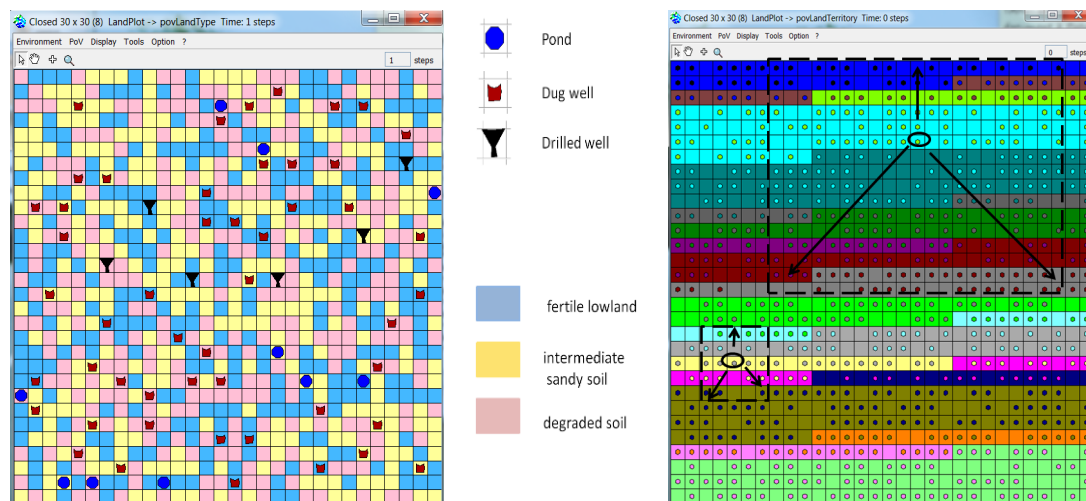


Figure 10: Spatial settings of a simulation. The left figure represents the random initial distribution of the water sources within the agent-based model Sahelian environment. The right figure represents an illustration of the diversity of the levels of perception, reflecting the level of information of the user agent. Level of perception of the lower left user: 2; level of perception of the upper right user: 10. The general environment represents the different land territories of the land chief agents (one colour for one land chief agent)

Each land chief agent randomly chooses a rationale, and consequently allocates resource access rights to the users of his/her land territory. This will constitute their initial land capital. The other regulator agents (local communities and state) are also created and linked to a set of land plots (or to the overall environment for the state agent), but they are not active at the beginning of the simulation as land regulators; they do not exist in the user agents' perception. During the simulation, it is possible for the modeler to introduce up to all the land regulation sources, and by doing so activate the state, and/or the local community as land regulators. This will potentially change the nature of the prevailing source of land regulation on the land plots concerned by the new land regulation introduction and consequently its mobilization by the user agents.

A simulation consists of a succession of rainy and dry seasons (one year thus corresponds to two steps) which lasts the number of years considered necessary for the simulated scenario (Figure 11). Both steps (rainy and dry season) are similar. The main difference is that at the beginning of the rainy season, linked to the rainfall, we observe the renewal of natural resources and the formation of ponds, whereas there is no natural resource reconstitution and the ponds disappear at the beginning of dry season. Natural resource replenishment is linked to the annual rainfall. At the beginning of each rainy season, the agent-based model randomly chooses the rainfall quality, with a respective probability of 1/6 for good rainfall, 1/3 for medium rainfall and 1/2 for bad rainfall. According to the quality of this rainfall, the number of land plots for which the natural resources are totally or partially replenished will vary.

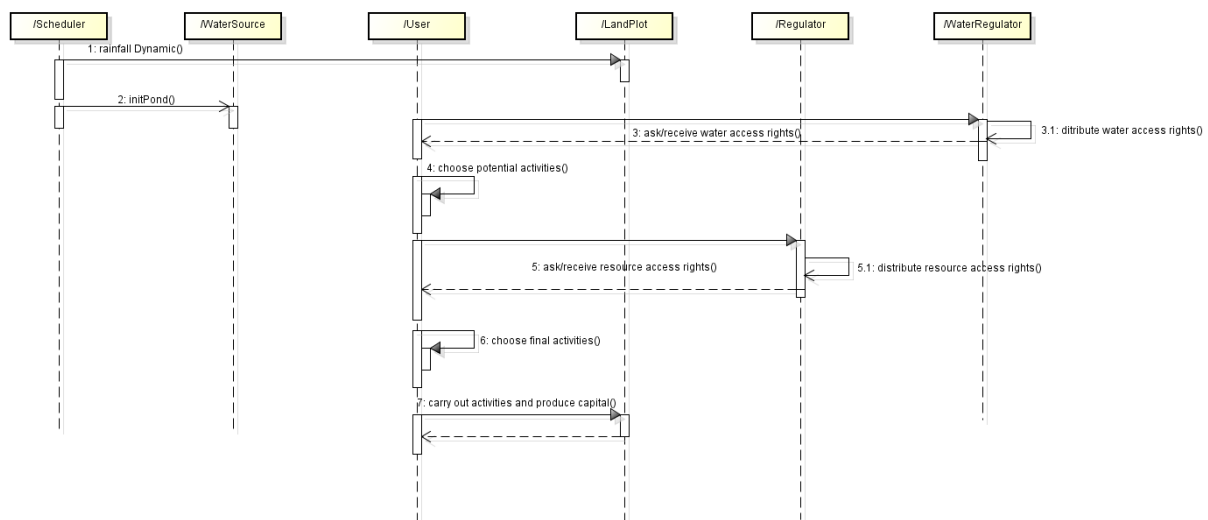


Figure 11: Sequence diagram of the rainy season step. After the ecological dynamics, users begin both steps by asking for water access rights to the water regulators of the various water sources. Depending on the positive or negative response of the water regulators, users make a first choice of activity. Another specificity of the dry season is that a user with no water access will not be able to carry out rural activities at all (any activity necessarily requires water during this period of the year). These choices of activities can lead to a need for natural resources that users ask to the various land regulators. According to what they finally obtained by the land regulators who follow their own rationales, users will maintain or modify their initial choice of activity, and eventually exploit and consume the various environmental resources in order to produce and improve their capital.

3.3. Observed indicators

During and at the end of the simulation, several indicators allow the operator to observe different aspects of change between the initial and final situation at the general level of the agent-based model (such as indicators of natural resource dynamics, land regulation dynamics, user access rights and activities dynamics, etc.) and at a local level of each spatial, social and passive entity of the model (e.g. the rationale of each regulator agent, the number of access rights he/she delivered during the simulation, variations in the capital of each user agent, his/her choices of rural activities, changes in his/her portfolio of access rights during the simulation, etc.).

For the particular set of simulations that we developed in this article, aimed at more precisely exploring how the diversity of actors' perspectives plays a role in the practical application pattern of a new land regulation in a Sahelian environment, we opted to monitor changes in users' activities conducted with resource access rights obtained by the different land regulation sources (land chief, local community and state). User agents can carry out activities only on land plots for which the interactions with land regulators have succeeded in obtaining sufficient (according to users' perceptions on a good access right duration) resource access rights. These indicators therefore allow us to perceive the 'actual' pluralism of land regulations (while leaving out interactions which have not succeeded) which seems to be relevant if we aim to explore the practical application pattern of a new land regulation in a land regulation environment.

4. Model verification and validation

Verification of a model means "getting the model right" (Parker et al. 2003). Model validation is "getting the right model" (Parker et al. 2003), meaning that the correct abstract model was chosen and accurately represents real-world trends and patterns. Verification and validation of ABMs have been the focus of much attention (Robinson et al. 2007, Filatova et al. 2013).

The agent-based model was verified using complementary verification procedures: a code review by another agent-based modeler and a set of stress tests to monitor the behavior of the model in extreme situations. We also implemented unit tests for each sub-model that run parts of the model in a controlled way and then ran the model with very few agents in order to examine the results closely (e.g. according to the life history of each specific agent). The parametrization of the agent-based model as it stands is based on an indirect proportional calibration (abstract units, real ratios). We used our empirical data to run large numbers of calibrations with various model parameters and we compared our model outputs with empirical data. We finally chose the combination of model parameters which replicated the empirical data best (Schwarz and Ernst 2009) and sufficiently well reproduced patterns actually observed in the field (Grimm 2006, 2010).

There are a number of ABM validation approaches (Bousquet et al. 2003, Castella et al. 2005, Janssen and Ostrom 2006, Grimm 2006, 2010, Schwarz and Ernst 2009). Our validation aimed to ensure that the fundamental structural and behavioral components in the agent-based model captured the main aspects of the actual stakeholder-oriented pluralism of land regulation. We thus ran a set of consistency checks to validate the default situation we sought to represent. In order to illustrate the uncertainty that defines this pluralist land regulation complex system, the default situation indeed uses randomization for a large number of parameters. The consistence tests therefore consisted on

initially set parameters which were normally randomly chosen (e.g. the rainfall quality, heterogeneity of land types, land and water regulators' rationales in distributing access rights, etc.). Simulations for the consistency checks were based on a 10 year time steps, equivalent to 20 steps per simulation. Each consistency check simulation was repeated 50 times.

This validation revealed that the co-existence of the various processes and patterns observed via the agent-based model—allowing us to assess the complexity of this Sahelian natural resource management system—prevailed only in the pluralist default situation. This existing diversity was indeed reduced each time we reduced the random aspect (and therefore the plurality) of the significant parameters of the agent-based model and under these circumstances our agent-based model was no longer valid for representing this complex reality (Gilbert 2000). Based on this validated pluralist default situation, a broad range of simulation scenarios are possible depending on the question or the areas each potential future user of the agent-based model wants to investigate.

5. Simulations and results

5.1. Simulation scenarios

As already explained, land use policies have accentuated this already existing complexity over time. Indeed, rather than abandoning their practices, local populations have added to their pre-existing sources of regulation the land tenure policies successively drawn up. The aim of the simulation scenarios developed was to explore these additions of new land regulations to the complexity existing by default. The hypothesis we explore in this article is that the diversity of actors' perspectives plays a key role in the practical application pattern of new land regulations in Sahelian land regulation environment. This diversity of perspectives indeed determines the ways users perceive land regulation changes and consequently take it (or not) into account in their land access practises.

A new land regulation can be introduced with a diverse range of intensities (e.g. the proportion of users mobilizing this new land regulation source) and configurations (e.g. the spatial distribution of the users mobilizing the new land regulation source). This can lead to a diversity of landscape composition patterns at a general scale, according to the introduced changes. For example, a new development project can give rise to changes in land regulations applied to one or several contiguous areas (e.g. the project works with all users of a village, of a local community, of a hydro-agricultural area, etc.). A new land use policy will however concern all users of the country, often on a voluntary basis (e.g. users have to launch the process of converting and formalizing their land rights).

In order to explore different new land regulation introduction patterns, we opted for this set of simulation scenarios:

- to simultaneously introduce the local community regulator agents and the state regulator agent, because they represent two different sources of external changes in the traditional default land regulation. The state agent represents a single 'top-down' regulator with a single rationale (which is randomly initially chosen) for allocating resource access rights on his/her land plots (representing the whole environment), while several local community agents are created, and each local community regulator agent initially chooses a specific rationale to manage the resources in his/her decentralized territory (representing a portion of the whole environment);

- to set the characteristics of the new land regulation source introduction pattern. Each new regulation is introduced in the agent-based model with an intensity (per land plot) of 30 users, with a 20 land plot distribution. This calibration results from a previous introduction pattern simulation analysis stage.

On this basis, we developed two simulation scenarios, one with a random distribution of these new land regulation sources (i.e. the 20 land plots on which 30 users mobilize the new regulation are randomly spread within the whole environment of the agent-based model), and one with a contiguously localized distribution (i.e. the 20 land plots on which 30 users mobilize the new regulation are contiguous in a certain area of the environment of the agent-based model) (see Figure 12). Note that the land regulation integration mechanism in the agent-based model is defined by the fact that a user agent decides to mobilize a land regulation if it becomes a prevalent (according to his/her perception) source of resource access on the land plots which interest the user agents.

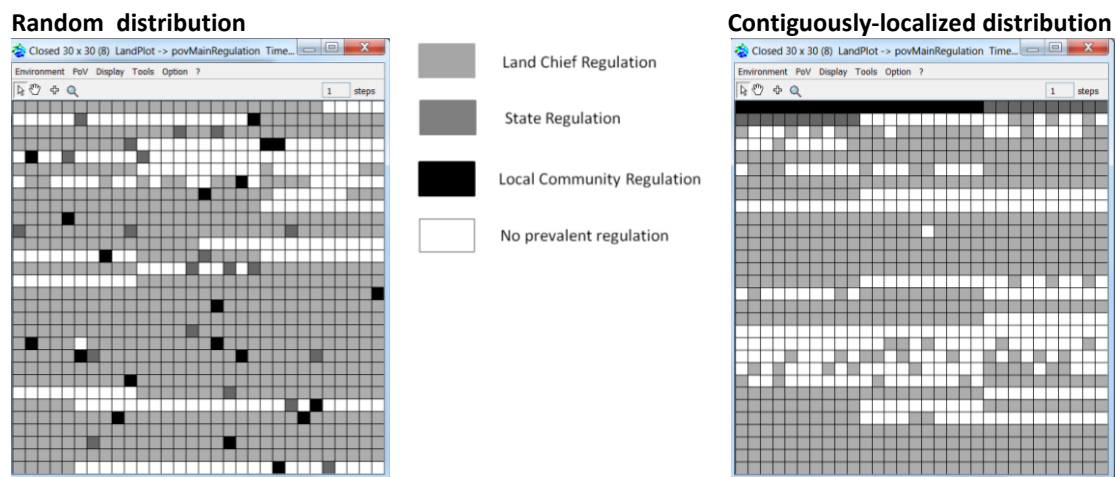


Figure 12: New land regulation source introduction patterns

The user agents' perception of resources and their regulations is the parameter that this set of simulation scenarios aims to specifically monitor. This variable is by default specific to each user agent and initially randomly chosen between 1 and 15. We ran a first set of simulations of the two scenarios with these parameter characteristics in order to highlight the trends of the pluralist default situation. Then we ran a second set of simulations of the two scenarios with the initial diversity of users' perceptions replaced by gradually increasing homogeneous perceptions, starting from 1 (all user agents have an attribute value equal to 1) and ending at 30 (all user agents have an attribute value equal to 30) at the end of the simulation. This is in line with the concept that the level of information that land actors have about land regulations is similar for all actors, starting with information that only applies to the eight land plots around a user agent and finishing with all the user agents knowing what is happening in terms of land regulation in the total environment of the agent-based model). The simulation scenarios were again based on a 10 year time steps equivalent to 20 steps (one step = one dry/rainy cultural season) per simulation. Each simulation scenario was repeated 30 times.

5.2. Results

Each graphic of the results illustrates the practical application of the different new regulation source introduction patterns in the users land access practices for the last rainy season in a 20 time step

simulation. We chose to base our results on this last tenth rainy season because Appendix 5, according to the temporal integration of the different land regulation sources within users' land practices, shows that the observed patterns stabilize after a few seasons, sometimes with an original shape that could be highlighted by focusing on the last rainy season (rather than working with an average of the 10 rainy seasons, for example). The trends are similar in the dry season, except that a lower number of user agents are concerned because they need to previously obtain water access rights to carry out their rural activities (and in turn mobilize land regulations to access resources).

5.2.1 Practical application pattern of new land regulation sources according to users' diversity of perceptions

The first set of simulations of the two scenarios aims to explore the practical application pattern of new land regulation sources in the pluralist default situation. The results show that, for the same introduction intensity, the new land regulation sources have a more widespread integration when initially randomly spread throughout the environment (Figure 13) than when introduced only on a contiguous localized area (Figure 14). This result highlights that the diversity of user agents' perceptions can prevent them from perceiving a change in land regulation when it is happening in a part of their environment that is too distant from their own location. Conversely, when the change is randomly introduced, the probability that the new land regulation is mobilized in each user agent neighborhood (and therefore that a higher number of user agents perceives it) is higher.

Furthermore, the impact of the new land regulation sources on the initial traditional land chief regulation is minimal when these sources are contiguously localized in the environment, with the land chief regulation remaining the predominant source of regulation mobilized by the user agents to access resources (Figure 14). On the contrary, when these new land regulation sources are randomly introduced at this same intensity level, user agents directly add them to their land practices (see Appendix 5), and we observe a pluralism of land regulations that are expressed differently according to the simulations (Figure 13). Indeed, according to the expression of the user agents' initial diversity of perceptions, the nature of the prevalence of the new land regulation sources, and consequently the extent of their impact on the initial traditional land chief regulation varies. The intensity of the introduced change (i.e. the number of user agents mobilizing the new land regulation introduced) does not need to be high to allow practical application of the new regulation in users' practices when this change is randomly introduced whereas, by comparison, it does when its introduction is contiguously localized.

The results finally highlighted that the diversity of land regulator management objectives, leading to more or less distributive land access rights rationales (see Table 2), had a significant impact on the number of user agents (out of a total of 1000) who access land resources (and consequently are able to carry out their rural activities). Indeed, the interaction between the level of spatial perception of a user agent (defining the number of land regulators he can perceive) and the land regulators' objectives he/she consequently mobilizes can lead to the possibility that a user ends the cropping season without any ongoing land access right in his/her portfolio. These land management objectives also play a role in the speed of integration of a new land regulation within users' practices. A highly distributive rationale will increase the number of user agents concerned, and user agents are therefore more likely to perceive land regulation changes in their neighbors' practices.

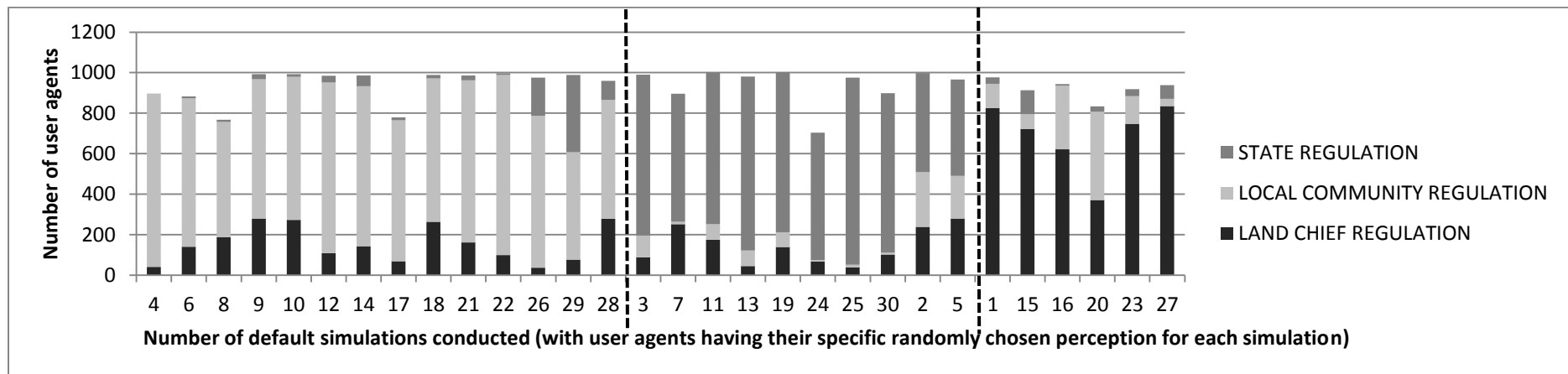


Figure 13: Practical application pattern of randomly introduced new land regulation sources in the pluralist default situation. The vertical bars separate three categories of simulations depending on the domination of one regulation. The total number of user agents carrying out activities through these different land regulation sources depends on the diversity of regulator agent objectives.

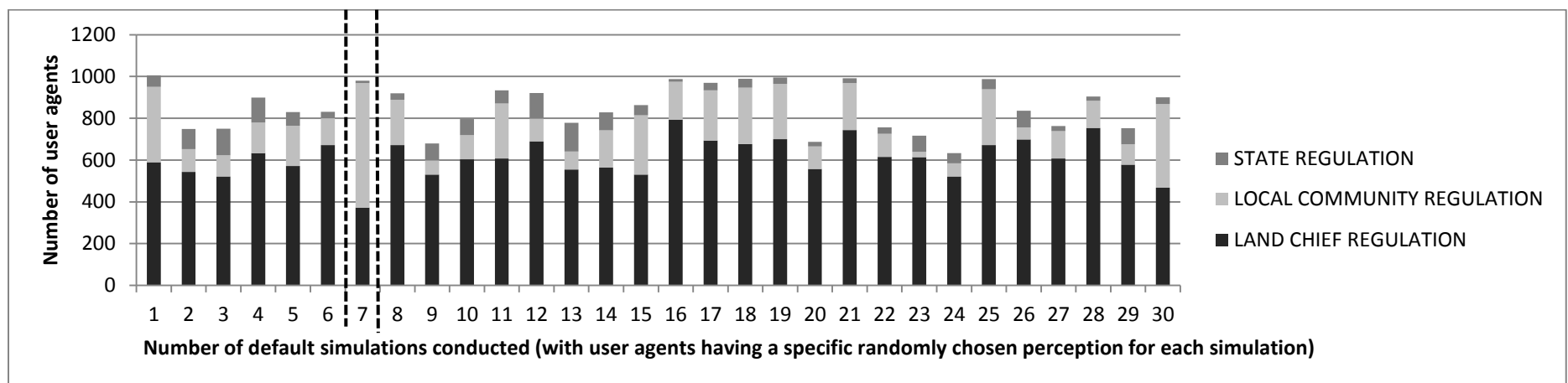


Figure 14: Practical application pattern of contiguously localized introductions of new land regulation sources in the pluralist default situation. The vertical bars separate categories of simulations depending on the domination of one regulation.

5.2.2 *Practical application pattern of new land regulation sources according to users' identical perceptions*

The second set of simulations of the two scenarios was aimed at assessing the integration of new land regulation sources when user agents' perceptions are similar and initially homogeneously fixed. The results (Figure 15 and 16) seem to confirm that the pluralism of land regulation is linked to this diversity of users' perceptions, leading to an asymmetry of information on resources and their regulations. For the same intensity change introduction values, this pluralism of land regulation sources is expressed longer (with regard to variations in the homogeneous value of user agents' perceptions) when the new regulations are introduced only on contiguous localized areas.

Indeed, when new of land regulation sources appear randomly within the environment (Figure 15), the results show that a form of pluralism is possible when the homogeneous fixed user agents' perceptions are small, but once homogeneous perceptions are above 12-13, the state becomes the predominant source of regulation for all user agents, except for some simulations where the local community regulation predominates, but it is strictly one or the other and no pluralism is possible. The initial traditional land chief regulation is abandoned by user agents except for those who initially receive long-term resource access rights regarding their land capital (which explains why 200 user agents still carry out activities through land chief access rights). For the last two perception levels (29-30), all user agents know the entire environment in terms of natural resources and their regulations, and it seems to fully prevent the new sources of regulation to diffuse in users land access practices. User agents mobilize only the land chief agents because the intensity of new land regulation source introduction is not high enough to offset the initial prevalence of the traditional land chief regulations at the whole environment scale²⁸. Furthermore, this exclusive mobilization of land chief agents seems to reduce the number of users who actually access resources because when all users have the same perception on resources, they all ask for access rights to the same land chiefs, whereas those managing the land plots have a higher quality of land resources.

When new sources of land regulation are introduced on contiguous localized areas (Figure 16) at the same introduction intensity, the pluralism is essentially allowed when user agents reach a homogeneous medium level of perception (equal to 14-15 at least). Before this level, no new regulation sources are perceived and therefore (predominantly) maintained in users' practices. Besides, the similar homogeneous low level of perception of user agents seems to reduce the expression of land regulation pluralism and cause the same land access crisis as the homogeneous higher level of perception (29-30) above. As user agents gradually have the same spatial perception on the localization of land plots with a high quality of land resources without yet perceiving the possibility of new land regulation sources, they all ask the same land chiefs for their land access rights, which leads to saturation in the demand and to an incapacity of these land chiefs, and their diverse priority objectives, to respond to all user requests. This trend changes between the 16-26 users' perception level, where local communities mainly become the predominant source of regulation for all user agents and the land chief regulation reaches its lowest mobilization level, but

²⁸ Note that when user agents need to access land resources, they look around them according to their individual value of perception of resources and their regulations where the resources with the highest quantity are, and they send a request to the prevailing land regulator linked to each land plot they have found.

this level again increases when users' perceptions are high (29-30) for the same reasons has previously explained.

5.2.3 Practical application pattern of new land regulation sources according to land regulators' plurality of land management objectives

The comparison of the different results thus shows that the plurality of regulator agents and their land management objectives also play a role in the practical application pattern of a new land regulation source. Indeed, the plurality of local community regulators' objectives for managing their respective territories seems to favor an initially faster (Figure 15 and 16) and more frequent (Figure 13) integration of these new sources of regulation within user agents' practices than the sole land management objective of a State managing the whole environment alone, whereas user agents' perceptions still enable the expression of a pluralism of regulation. However, depending on his/her land management objective, once the state regulation passes the integration threshold and the user agents decide to mobilize it, the integration of this new land regulation in their practices seems to be higher and exclusive (Figure 13 and 15).

6. General discussion

The results of our simulation scenarios seemed to reproduce a macro-phenomenon that we can empirically (Simon 1997, Janssen and Ostrom 2006, Schwarz and Ernst 2009) link to our Senegalese or other field experiments. From the simulation results presented above, we conclude that the practical application of a regulation depends on two dimensions:

- the plurality of perspectives. In our model, the plurality of perspectives of both user agents (through the diversity of resources and their regulation spatial perceptions, and through their specific assessment of access rights duration) and regulator agents (through the diversity of objectives they have regarding their land management rationale) plays a key role in the practical application pattern. The simulations show that when there is a plurality of perspectives, various land regulations co-exist and each of them can dominate the others in an unpredictable way (Figure 13), while when the perceptions are similar we observe the domination of regulations (Figure 15) depending on the users' range of perception. Besides, when these similar perception levels are too low or too high (Figure 16), they reduce the potential of expression of a pluralism of land regulation, gradually leading to a land access crisis for the Sahelian users. This again highlights that this plurality of users' perspectives plays a significant role in the expression of this pluralism and ensures better access to land resources for Sahelian users in this extremely ecologically and climatically variable and uncertain environment. In Senegal, people have different ranges of perceptions because each of them are linked to different types of networks and thus have information coming from different sources at different distances. According to our simulation, in this context, the spatial pattern of regulation introduction plays an important role, as show in Figures 13 and 14.
- The spatial pattern of the regulation introduction. The simulations revealed that a new regulation has more chances of being disseminated if the introduction effort is spatially distributed rather than contiguous. In Senegal, the official land policies only ramify in users' practices in specific contiguous-localized areas of the country. Securing land access

through an official 'paper' delivered by the State or a local community is effective in users' practices mainly in areas where it has been initially introduced (areas with a high agro-economic issue, concerning land resources close to water resources) but does not exist in most land-tenure practices in more semi-arid Sahelian areas (like the Ferlo silvopastoral area in Senegal, for example). The simulation highlights that a regulation introduced in local 'patches' does not disseminate, as we observed in Senegal. Our simulations suggest that a more distributed introduction of the regulation could have more chances of spreading.

Our simulations show that by maintaining a diversity of users' perceptions rather than fixing them, adjusting the spatial heterogeneity for the introduction of a new regulation leads to a diversity of regulations and unpredictability in their integration. The diversity of perspectives of Sahelian land actors (users and regulators) when they interact for access to water and land resources is the essence of the expression of a stakeholder-oriented pluralism of land regulation. In a given rural zone, several sources of land regulation can overlap according to the activities (and thus the different concerned resources). Some crop farmers in the area can mobilize an official body such as a local community (or the State) in order to obtain a land allocation (or land title) for their land, while at the same place and time, rangelands for livestock farmers are still managed by oral agreements delivered by customary land chiefs, with no recognition in the official land policy. In order to fulfil a land resource need based on flexible and multiple resource exploitation systems, Sahelian users mobilize, according to the context, different land regulation sources, and thus define their specific perspectives of land tenure security and of their usage legitimacy within this pluralism of land regulation. By deciding to authorize or refuse resource access to the different users, land regulators also define their specific perspectives and establish their legitimacy as regulators within this stakeholder-oriented pluralism of land regulation.

The use of an agent-based model seems to be a tailored methodological tool to describe and explore the complexity of a stakeholder-oriented Sahelian land regulation pluralism. Janssen and De Vries (1998) have shown that ABMs can be used to simulate agents with different perspectives, while Bonnefoy et al. (2000) simulated the coordination among agents having different representations of their landscape and resources. By allowing heterogeneity of agents, interdependency between actors, the expression of individual and diversified rationales and spatial and temporal plurality of analysis scales, it represents a 'bottom up' process-based approach, where the diversity of local interactions produces non-linear observable macro-phenomena, where the whole is greater than the sum of the parts (Epstein and Axtell 1996, Verburg 2006, Robinson et al. 2007). Regarding these interactions, the use of ABMs in the area of land (use, cover, management) systems largely focuses on studying the diversified individual decision-making processes of one type of land actor (crop and livestock farmers, managers, decision-makers etc.) interacting with the land resources (Parker et al. 2003, Mathews et al. 2007, An 2012), but studies focus less on the interactions between different types of land actors (with their respective diversified individual decision-making processes) when they interact to negotiate their access and use of these land resources (Mathevet 2003, Bakker et al. 2015). This study confirmed that this level of interaction can also be taken into account with agent-based modeling and can help to gain a more process-based understanding of the complexity of human decision-making (An 2012) regarding land resource use and management.

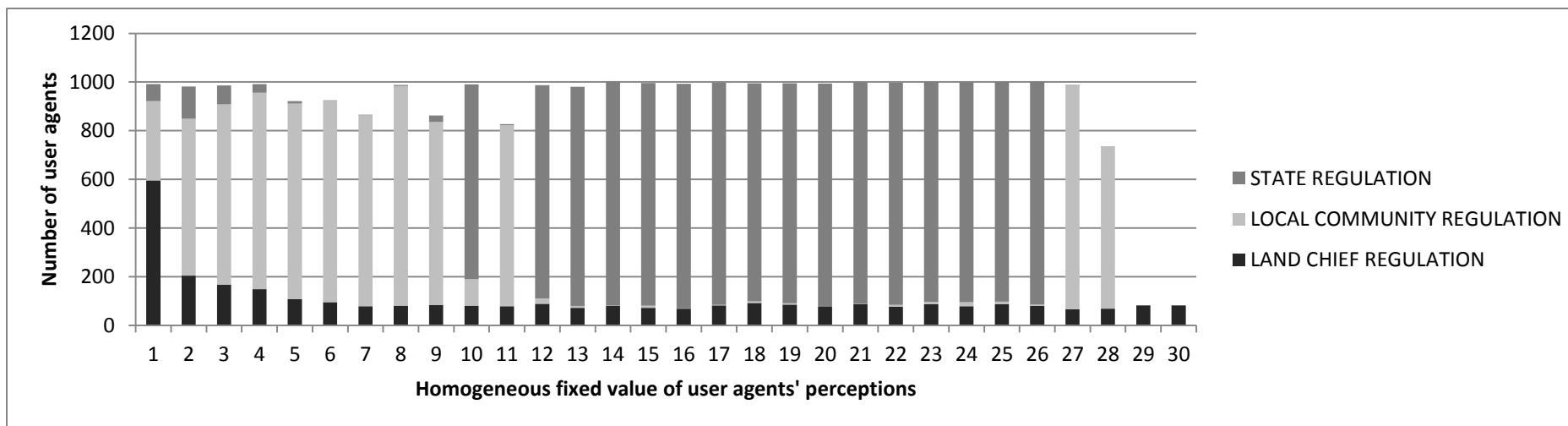


Figure 15: Practical application pattern of randomly introduced new land regulation sources according to homogeneously fixed patterns of user agents' perceptions

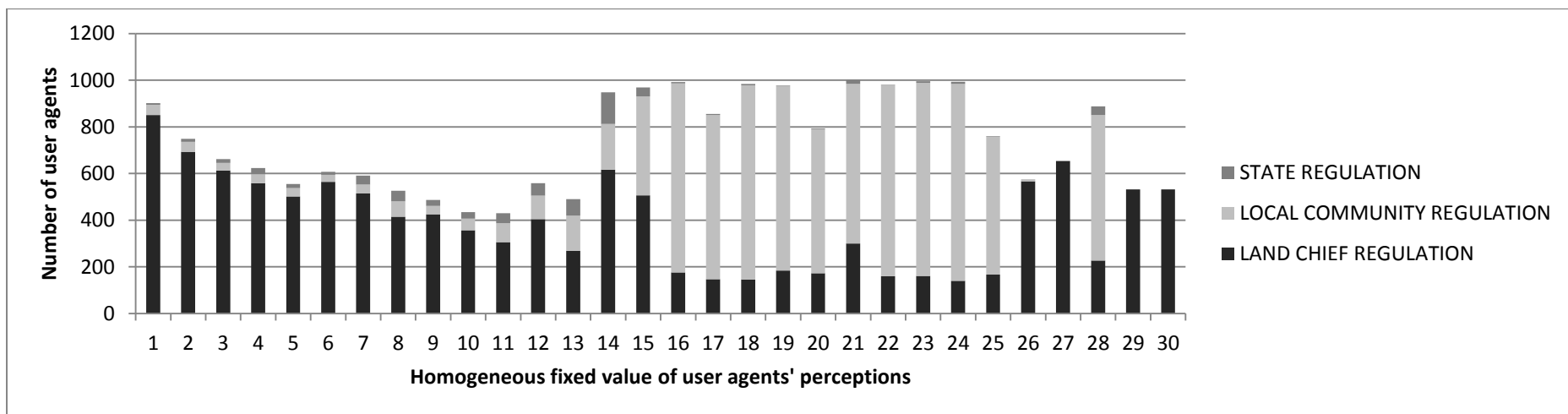


Figure 16: Practical application pattern of contiguously localized distributions of new land regulation sources according to the homogeneously fixed patterns of user agents' perceptions

7. Conclusion

In this study, we show through the implementation of an agent-based model that the diversity of perspectives of Sahelian land actors (users and regulators) when they interact for access to water and land resources is the essence of the expression of a stakeholder-oriented pluralism of land regulation, which is an informal but lasting feature in these complex Sahelian land tenure contexts. We studied two scenarios regarding different introduction patterns of new land regulation sources within this pluralist default situation and showed that this diversity of perspectives plays a key role in the integration of a new land regulation in a Sahelian land regulation environment, through the ways land actors perceive these land regulation changes and take them into account in their land use and management practices.

As Meyfroidt (2012) concluded in his article that land-use choices result from multiple decision-making processes and rely on various motives, influenced by social norms, emotions, beliefs, and values regarding the environment. Human agents actively re-evaluate their beliefs, values, and functioning to adapt to unexpected environmental changes, including land regulation changes. By using a combination of empirical investigation, theory development and an agent model-based testing of these adaptive behaviors, the present study was aimed at highlighting the need for a better understanding of alternative decision-making processes, particularly their interactions (Filatova et al. 2013) and the importance of taking the diversity of actors' perspectives underlying individual land-use decisions into account. This diversity of Sahelian land actors' perspectives is indeed an essential component for understanding how past land laws have been added to Sahelian users' practices, but also how future land reforms will be welcomed by this pluralist land regulation complex reality.

Author contributions

Hermine Papazian, Patrick d'Aquino and François Bousquet developed the conceptual model. Hermine Papazian and François Bousquet did the programming of the model, designed the simulation scenarios and analyzed the outputs. Hermine Papazian wrote the article with the support and assistance of François Bousquet's attentive reviews.

Chapitre 4: Expérimenter l'expression « orienté-acteurs » d'un pluralisme de régulation dans le temps : comment les pratiques foncières sahéliennes intègrent-elles les politiques publiques?

Ce chapitre est adapté de l'article de revue :

Papazian H., Bousquet F., Antona M., d'Aquino P. (2015). The plurality of environmental regulation patterns in actors' mind. Example of land tenures policy integration in Sahelians' land access practices, *Ecological Economics*, En cours de finalisation pour soumission

Synthèse

L'appréhension « orienté-acteurs » d'un pluralisme de régulation foncière expérimentée dans les précédents chapitres mène au double constat (i) qu'une nouvelle politique foncière ne représente qu'une nouvelle source de régulation venant s'ajouter à la complexité existante (mais ne supprimant pas les sources de régulation existant au préalable), et (ii) que la prise en compte de toute nouvelle politique foncière à venir sera basée sur l'interprétation et l'utilisation effective qu'en feront les différents acteurs, et non sur son application d'office présumée.

Questionner la manière qu'ont les populations cibles de répondre à des changements de politique publique et en conséquence la manière dont une politique diffuse est un élément clé de toute analyse des politiques. La diffusion est dans ce domaine définie comme les tendances successives d'adoption (par l'imitation, l'apprentissage, la compétition ou la contrainte) d'une politique publique. Si les travaux de recherches orientent souvent leur analyse vers la diffusion d'une politique d'un pays à l'autre, ou d'un gouvernement à l'autre, ce dernier chapitre choisit d'explorer ces processus en se positionnant à l'échelle de la diversité des perceptions individuelles des différents acteurs bénéficiaires de la politique à l'intérieur d'un seul et même pays. Cet angle d'approche est particulièrement important pour les politiques foncières sahéliennes, souvent mise en place par les Etats en laissant le choix aux usagers d'initier d'eux-mêmes les démarches d'immatriculation de leurs espaces pour convertir leurs droits fonciers traditionnels en certificat et/ou titre foncier.

En lien avec ce choix d'angle d'approche, plutôt que de questionner leur « diffusion », on choisit dans ce chapitre d'étudier comment les différentes politiques foncières mises en place par les Etats sahéliens sont (ou non) *intégrées* dans les pratiques foncières des acteurs locaux. La réflexion a ainsi à la fois une portée actuelle, en cherchant à apporter des éléments de compréhension sur la manière dont les politiques foncières de « demain » pourraient être perçues et prises (ou non) en compte par les acteurs des pays concernés ; et à la fois une portée historique, car réfléchir aux futurs possibles commence par chercher à comprendre comment les politiques foncières mises en place depuis les indépendances ont été intégrées dans les pratiques actuelles des populations sahéliennes.

Au regard et en complément des premiers résultats obtenus dans le chapitre 3, ce dernier chapitre vise donc à explorer par des simulations multi-agents complémentaires les liens existants entre les caractéristiques d'introduction d'une nouvelle politique foncière dans un pluralisme de régulation et

la manière dont cette politique est intégrée dans les pratiques foncières sahéliennes. L'hypothèse formulée pour l'élaboration des scénarios de simulation est qu'une nouvelle politique foncière sera perçue et envisagée par un usager uniquement si elle devient une pratique légitimée dans les pratiques d'accès aux ressources des autres usagers. L'intégration d'une nouvelle politique foncière est donc ici reliée au concept de seuil de perception, représentant la proportion d'adoptants de la nouvelle politique au-delà de laquelle cette nouvelle régulation devient une des sources de régulation installées dans les pratiques d'accès aux ressources des usagers sahéliens, mais en dessous de laquelle qu'importe les caractéristiques d'introduction de la nouvelle politique foncière, elle n'est pas perçue ou en tout cas pas considérée par les usagers dans leurs pratiques d'accès.

Dans les scénarios de simulation développés, une nouvelle politique foncière peut être introduite dans l'environnement du modèle à travers (i) un seul ou une pluralité de régulateurs fonciers (et leurs respectives et diverses logiques de gestion des ressources), (ii) une pluralité d'intensité initiale d'introduction, représentant le nombre initial d'usagers mobilisant déjà la nouvelle politique foncière dans leurs pratiques d'accès au moment de son introduction et (iii) une pluralité de distribution spatiale de cette intensité initiale d'introduction, en répartissant le nombre initial d'usagers ayant déjà intégré la nouvelle politique foncière dans leurs pratiques soit de manière disséminée dans l'environnement, soit de manière regroupée, localisée à un même endroit de l'environnement.

Les résultats des scénarios de simulation exploratoires réalisés confirment que l'intégration d'une nouvelle politique foncière dépend significativement des caractéristiques de son introduction dans un environnement sahélien. Ces caractéristiques impactent en effet la valeur du seuil de perception au-delà duquel les usagers perçoivent cette nouvelle régulation et l'intègrent de manière durable à leurs pratiques d'accès aux ressources. L'intensité initiale d'introduction d'une nouvelle politique foncière n'a pas besoin d'être élevée quand celle-ci est introduite de manière disséminée dans l'environnement, la diversité des perceptions de l'espace des usagers entraînant rapidement son intégration généralisée. A l'inverse, quand la nouvelle politique foncière est seulement introduite dans une zone localisée de l'environnement, cette même diversité de perceptions de l'espace limite le nombre d'usagers qui perçoivent le changement de régulation foncière dans leur voisinage et intègrent potentiellement en conséquence la nouvelle politique foncière à leurs pratiques. L'intensité initiale d'introduction doit par conséquent être très élevée pour que la nouvelle politique foncière devienne une des sources de régulation foncière installée dans les pratiques d'accès aux ressources des usagers.

Ces résultats mettent en lumière que le processus de diffusion/intégration d'une nouvelle politique n'est pas uniquement une question de temps, mais qu'il dépend également de critères spatiaux, qui influent sur les configurations et les dynamiques d'interactions sociales. Enfin, les résultats des scénarios simulés illustrent qu'une politique foncière a plus de probabilité d'être intégrée dans les pratiques d'accès aux ressources des usagers si elle est introduite par une pluralité de régulateurs aux logiques de gestion diversifiées (ici les régulateurs des différentes collectivités locales ayant en gestion différentes portions du territoire Sahélien) que par un seul régulateur adoptant une unique logique de gestion (ici un Etat central ayant en gestion l'ensemble du territoire Sahélien). En effet, les objectifs prioritaires par les régulateurs dans leurs logiques de gestion des ressources foncières sont plus ou moins distributifs en terme de répartition des droits d'accès aux ressources. Ces objectifs jouent en conséquence sur le nombre final d'usagers qui bénéficie d'un accès aux ressources par ces différents modes de régulation influant ainsi également sur la valeur du seuil de perception.

A travers l'exploration de l'expression de ce seuil de perception, ce quatrième chapitre permet d'apporter des éléments de compréhension sur la stabilité d'expression d'une régulation foncière (ou d'un pluralisme de régulations foncières) et sur les conditions pouvant entraîner son instabilité. La diversité des perceptions individuelles mises en interaction à l'échelle locale crée des formes de régularité et des phénomènes à l'échelle englobante, celle d'un territoire sahélien. Les acteurs, en faisant vivre les règles en fonction de comment ils les comprennent et les interprètent collectivement, produisent une connaissance et des habitudes de comportement et de pensées communes qui ont pour espace d'expression la globalité du territoire sahélien. Ces dernières observations participent à renforcer la réflexion sur les possibilités de créer un pont entre l'usage des SMA pour l'étude des systèmes complexes et l'analyse de la création et de l'évolution des institutions.

1. Introduction

The question of how target groups respond to different policy changes and consequently how a new policy diffuses is a crucial element of any policy analysis (Dolowitz and Marsh 1996, Freeman and Tester 1996, Stone 2001, Elkins and Simmons 2005, Shipan and Volden 2008). Diffusion can be defined as any pattern of successive adoptions – through policy learning, economic competition and policy emulation (Berry and Berry 2007) - of a practice, policy or program innovation (Freeman and Tester, 1996). In terms of policy analysis, studies on policy diffusion have often focused on the macro level, with diffusion being viewed as a process through which policy innovations cross-country spread from one government to another (Dolowitz and Marsh 1996, Elkins and Simmons 2005, Meseguer 2006, Weyland 2007, Shipan and Volden 2008, Meseguer and Gilardi 2009). It also seems, however, important to explore and identify the patterns according to which policies disseminate at lower scales, across one country, especially when these policies are based on a voluntary stakeholder choice, which is often the case in Sahelian countries regarding rural land tenure policies (users themselves have to initiate the process of converting and formalizing their local land rights).

In Sahel, local pre-existing rules remain also relevant for people, while continuously evolving to adapt to contexts. These local land rules are temporally and spatially flexible and dynamic (Ellis et al. 1988, Mehta et al. 1999), allowing a high spatiotemporal mobility of people and activities (Behnke and Scoones 1992). This complex and evolutive frame, favoring multi-uses (Gallais 1977, Le Roy et al. 1996, d'Aquino 2002b), seeks to take advantage of the best of this variability by searching and collectively exploiting (Berkes et al. 1989, Ostrom 1990) the best environmental conditions according to their temporal location. In parallel to these already complex local regulations, the official regulations set up by Sahelian States, which do not recognize the existing local ones, have used approaches inspired from Western policies (Weyland 2007) strongly different from these local regulation contexts. This is in peculiar the case for the land tenure policies, which are based on land tenure and ownership framework so far away from the land regulation Sahelian frameworks that they have not succeeded in replacing them (Bruce and Migot-Adholla 1994, Platteau 1996). Works show that these policies have ultimately accentuated the existing complexity (Mehta and Leach 1999, Weyland 2007, Cotula 2007). Indeed, rather than abandoning their practices, local populations have incorporated the successive land tenure policies in force to their conventional regulatory mechanisms.

In fact, in their practices, Sahelian users mobilize the different sources of regulation that they consider available for them (Metah et al. 1999). Depending on the individual situation and the planned type of use, they thus make reference to different sources of land tenure regulation (von Benda-Beckham 1981, Cleaver 2002, Meinzen-Dick and Pradhan 2002) leading to what is called in the scientific literature pluralism of regulation (Griffiths 1986, Le Roy 1996, Platteau 1996, Meinzen-Dick and Pradhan 2002). This pluralism is an informal but lasting feature, and the land resource management is therefore built on several overlapping land regulation systems, where numerous land regulators intervene, like customary land chiefs, family chiefs, village leaders, decentralized local authorities, State officials, members of civil society...These regulators are also taking part in this pluralism through their own specific stakes as regards to the management of land resources (Axelrod 1976, Sabatier 1987, 2007, Janssen and de Vries 1998, Weyland 2007, Barthès 2009).

Starting from this observation that a new land tenure policy is only a new source of regulation added to the existing pluralism of regulation (but which does not remove existing or prior sources of regulation) which cannot be supposed to be automatically applied by stakeholders (users and regulators) but only be re-interpreted and used if and when needed, it becomes relevant to take into account the diversity of actors' perspectives as regards to this perceived plurality of available sources of land regulation. This diversity of Sahelian land actors' perspectives is indeed an essential component for better understanding how the past land policies have been added to Sahelian users practices, but also how the future land reforms will be welcomed by this pluralist land regulation complex reality, as these perceptions end up to their individual land tenure decisions.

The purpose of the experiment presented in this article is to design and test a model that integrates this diversity of stakeholders (users and regulators) perspectives about available land tenures and their needs to mobilize some of them, partially or totally. In line with diffusion research, but from a stakeholder-oriented point of view, this article particularly aims to explore, with the development and experiment of an agent-based model, how new land tenure policies are incorporated in Sahelian users' land access practices. First we outline our modelled conceptual approach, and present the choice of simulation scenarios we made in order to explore the plurality of new land policy integration patterns in a Sahelian environment. Then we describe and discuss the results of a set of scenarios simulated with our agent-based model. Results indicate that the integration pattern of a new land tenure policy largely depends on the ways it is introduced in a Sahelian environment, and therefore perceived by the stakeholders evolving on these extremely variable and uncertain environmental contexts.

2. Materials and methods

2.1. Description of a stakeholder-oriented pluralism of land regulation

In much of the rural Sahel, land, natural resources and water official regulations have developed with very little coordination, and often in different directions. But from the Sahelian actors' perspectives, these different resources are still inseparably linked, thus allowing them to carry out their livelihood activities in this complex environment and to produce the food they need (Turner et al. 2011, Hesse et al. 2013).

In our conceptual model, depending on their need of accessing to the land resources, Sahelians mobilize different sources of regulations, by interacting with different sorts of land regulators: local land chief, warrant of local rules, local council, warrant of decentralization land management, administrative authorities...). Officially, only one of these regulators is recognized, those who is in charge of land regulation in the current land policy, but regulators acknowledged by some officially past regulations systems continue to be mobilized by locals, and especially customary ones. For each of their need of land parcel, stakeholders interact (in order to negotiate these resource accesses) with one of another of these perceived regulators, depending of the type of resource and the nature of the activity they intend to implement into each land parcel. Thus, different land regulation sources are legitimated by the established interactions between social and ecological dynamics (Gallopín 1989, Berkes and Folke 2003) for the need of accessing (and secure its access) to the different land resources. In this research, we focus particularly on the expression of a pluralism of land regulation

sources when stakeholders interact for land resource access and use (Ribot and Peluso 2003), but this pluralism pools all land regulation sources from the access to the mechanisms of conflict settlement (Mathieu 1996), controls and sanctions (Babin et al. 1997) regarding land resource use and management.

In order to structure the diversity of stakeholders' perspectives within these interactions, we based our modelled conceptual framework on the 'bundles of rights'²⁹ approach (Schlager and Ostrom 1992, Le Roy 1996, Mehta et al. 1999, Ribot and Peluso 2003, etc.) thus allowing identification of 'operational rights' (dealing with land uses) and 'administration rights' (dealing with the management of these operational rights, their distribution, conflict settlement, sanctions, etc.)—by analyzing two main 'levels' of stakeholders' perspectives:

- those of the land regulators, who manage land territories in the overall landscape, for which they allocate land access rights according to different priority objectives. Different regulators can have similar, complementary or overlapping administration rights on the same portions of territory, thus illustrating the distinction between various land regulation systems;
- those of the users, who choose activities requiring land resources for which they interact, according to their diversified perceptions on land resources and their regulations, with different land regulation sources in order to obtain secure access rights.

The present research approach led us to consider the various regulation systems as simple 'potential' sources of regulation (a land policy representing one potential source of regulation). Underlying the term 'source' is the idea that users make partial use of a set of rules and regulators with no systemic approach. It is not because a user decides at time *t* to mobilize a particular regulator or a particular rule that he/she will necessarily adopt the entire functioning and rationale of the system with which it is associated. Local stakeholders construct their own 'operation puzzle' by taking pieces for this from the different systems available to them. The puzzle changes as time goes by according to experience and local social interactions that modify the legitimacy of one regulation system or another, or rather of such and such a way of drawing a rule from a regulation system. The gathering of the different puzzles resulting from this diversity of local stakeholders' perspectives leads to the 'stakeholder-oriented' expression of a land regulation pluralism.

2.2. Description of the modelled mechanism of a land regulation source integration within Sahelians land access practices

In our conceptual approach, a land regulation integration depends on the initial users' choice of mobilizing it in their land access practices. Users seem to mobilise a land regulation pluralism at least partially by imitation or learning logic (Rogers 1995, Polhill et al. 2001, Shipan and Volden 2008, Meseguer and Gilardi 2009), adapting themselves to the prevailing land regulation source (whether it is formal or informal) active in the rural zone where the resources for which they require access are

²⁹ The 'bundles of rights' concept illustrates that there is not one right on land resources, but instead numerous rights (to use, to invest in the use, to administer, to transfer, etc.), on various resources (land, trees, forest products, water, etc.), for different periods (dry season, rainy season, available all year), different durations (from the cropping season up to several years), different access prices (free, or linked to a certain monetary or non-monetary cost) and that these rights may be claimed by various users (individual or collective) and under the control of different authorities.

situated. Land regulation pluralism therefore takes a dynamic, differentiated spatiotemporal form depending on what provides the best security for land tenure (Bruce and Migot-Adholla 1994, Le Roy 1999, Cotula 2007) for Sahelian users in a given context. A user at least partially bases his/her perspective of land tenure security on the ways other users already exploiting the areas that interest him/her have obtained their own land access rights. Security is here based on recognition by the other users, because this recognition ensures him/her non-contesting of his/her own resource access rights (Bruce and Migot-Adholla 1994).

Taking the share of adopters in the actor's network neighborhood into consideration when making adoption decisions (Kiesling et al. 2012) highlights the influential role of social contacts on the adoption of new behaviors (Valente and Rogers 1995, Delre et al. 2010). The integration of a new regulation cannot be explained as a result of individual heterogeneity alone as it is also fundamentally a social process (Rogers 2003), and in this regard social interactions are also important influences on the adoption of new behaviors (Hägerstrand 1967, Valente and Rogers 1995, Delre et al. 2010). Land regulators, with whom Sahelian users interact to negotiate land access, are also linked to the land regulation integration process through their own diverse land management perspectives (Axelrod 1976, Sabatier 1987, 2007, Janssen and de Vries 1998, Weyland 2007, Barthès 2009), thus determining their more or less distributive land access rights rationales (see Table 5 below) and therefore the final proportion of Sahelian users who will be able to access the land resources through their regulation mode.

2.3. Use of an agent-based model to formalize our conceptual modelled framework

Since they offer a way of taking actors' heterogeneity, social interaction and interdependence, adaptation and decision-making into account at different levels, along with irreducible randomness, Agent-based models (ABMs) are particularly well suited for modeling and exploring complex systems (Epstein and Axtell 1996, Janssen 2005, Heckbert et al. 2010). ABMs—by focusing on non-linearities and discontinuities, aggregate macroscopic patterns rather than causal microscopic events, probabilistic rather than deterministic outcomes and predictions, change rather than stasis—can offer new ways to think about policy analysis (Stone 2001, Kiesling et al. 2012), particularly to think about policy diffusion.

Modeling is a process that involves an iterative observation, modeling, prediction, and testing cycle. The best way to empirically inform an ABM is to use a combination of approaches (Bousquet et al. 1996, Castella et al. 2007, Robinson et al. 2007). Our modelled conceptual framework therefore results from a combination between a bibliographical review and a field experiment conducted in two parts (three hundred individual semi-structured interviews and the implementation of a role-playing game) through two regional case studies in Senegal, a Sahelian country. We developed our agent-based model while testing it by interviewing stakeholders but also letting some of them playing modelling games about land tenure regulations (Papazian, d'Aquino, Bourgoïn and Bâ, in press). The aim was to regularly update knowledge obtained from a literature review so as to ultimately highlight the complexity of Sahelian land resource uses and management through the representation of the essence of the diversity of actors' perspectives and land practices.

The two rural areas (Ferlo silvopastoral area and the mostly irrigated developed part of the Senegal River valley) have been chosen because they differ in their degree of integration of intensive farming and in the extent of official sources of land tenure regulation in users' land access practices. They highlight the expression of diverse land actors' perspectives regarding land regulation sources. Thus, stakeholders integrate official regulations in their logic of accessing to resources more rapidly in the irrigated part of the Senegal River valley, where land tenure tensions are dominant and where the official sources of land tenure regulation such as land allocation and land titles are present in users' land access practices. In contrast, in contexts in which the official sources of regulation have little hold such as in the Ferlo silvopastoral area, the so-called 'traditional' sources of regulation remain a sufficient guarantee of security for stakeholders to the point at which they invest in their rural activities on the basis of these so-called customary rights (Bruce and Migot-Adholla 1994, Wade 1998, Lavigne Delville 2007).

2.4. Hypothesis to test using the agent-based model

A complementary work using this agent-based model already showed that the plurality of land actors' (users' and regulators') perspectives played a significant role in a new land regulation integration process (Papazian, Bousquet and d'Aquino, in press). The hypothesis we seek to test in this article is that the characteristics of a new land tenure policy introduction pattern with regard to this plurality of land actors' (users' and regulators') perspectives, may also play a role in the new land tenure policy integration process. According to our conceptual approach (see 2.2), a new land regulation source will be really effective only in rural zones where it becomes a way of accessing natural resources established in users' practices in the concerned zone. The integration of a new land regulation is here linked to a perception threshold (Schelling 1971, Granovetter 1978, Valente 1996, Goldenberg et al. 2001, Alkemade and Castaldi 2005, Delre et al. 2007), which is seen as the proportion of adopters of the introduced new land regulation, above which changes are observed in users' practices regarding the mobilisation of land regulation sources, but below which—regardless of the new land regulation introduction pattern—it does not seem to be perceived, or in any case considered by Sahelian users.

A new land policy can be introduced through a diversity of: (1) land regulators, along with their respective and diverse land management perspectives; (2) intensities (e.g. the initial proportion of users mobilizing the new land policy in their land access practices); and (3) configurations (e.g. the spatial distribution of users mobilizing the new land policy in the environment). This leads to a diversity of landscape composition patterns at a general scale, according to the characteristics of the new land policy introduction. For example, a new development project can bring a new land regulation in one or several contiguous areas (the project works with all users of a village, of a local community, of an irrigated cropping area, etc.). A land reform will, however, concern all users of the country, whereas a (foreign) land investment project, will concerns a few users (mainly only the investors), but can have a marked impact on the general landscape composition, according to the number of hectares concerned by the investment project.

With the use of an agent-based model, we therefore seek to explore if the intensity and configuration of a new land policy introduction, as well as the land regulators for its implementation, may impact the new land policy integration process by modifying the perception threshold (i.e. the

proportion of adopters needed for Sahelian users to adopt the new land policy), above which the new land policy becomes one of the land regulation sources well-established in Sahelian users' land access practices.

2.5. Description of the agent-based model

The model is briefly described here but a more detailed description allowing its potential replication can be found online³⁰, and in complementary study (Papazian, Bousquet and d'Aquino, in press). The CORMAS³¹ platform used for the model construction was specially developed by CIRAD for simulating natural resource management and is oriented towards the representation of interactions between stakeholders on natural renewable resource use.

2.5.1. Purpose

The purpose of the model is to support the exploration of a 'stakeholder-oriented' regulation pluralism regarding the use and management of Sahelian natural resources. The temporality of the agent-based model is seasonal, linked to the succession of Sahelian rainy and dry seasons. The agent-based model simulates the diverse decision-making processes (i.e. rationales) of different land actors (users and regulators) when they interact for land and water access and use in a Sahelian environmental context.

2.5.2. Model entities and structure

The model's main social agents (users, land regulators (state, local communities and land chiefs) and water regulators), passive objects (activities and water sources) and spatial entities (land plots) and their relationships are presented in the conceptual model shown in Figure 17 and in its informatic translation in the UML class diagram in Figure 18. The UML class diagram (Figure 18) shows the attributes (variable or permanent characteristics) and methods (possible actions during simulations) assigned to each model entity.

User and regulator agents interact within this agent-based model for the negotiation of water and land resource access rights. The generic class Regulator is specialized in 3 possible classes of (land) regulator agents (Figure 18), corresponding to 3 sources of regulation existing within the pluralism of land regulations for securing access to resources:

- the land chief agents, representing the weight of tradition,
- the local community agents, representing the decentralization policy,
- the central state agent.

The diversity of perspectives for the regulator agents is taken into account in the ABM through the objective regulators chosen to prioritize for allocating access rights. This objective will define their rationale (see Table 5). Endowed with his/her own rationale, each regulator agent manages, for every season, resource access rights on the land plots of his/her territory by allocating resource access rights on his/her land plots to user agents. The value of the components of a resource access right (nature of the land right, surface area, period, duration, access price) also depends on the land regulators' rationale. The agent-based model follows the same logic for water regulator agents.

³⁰ DOI : 10.13140/RG.2.1.1121.8400

³¹ <http://cormas.cirad.fr/>

User agents (Figure 18) represent rural families composed of a varying number of members, therefore with a more or less high food self-sufficiency threshold and amount of capital (this latter variable symbolizes the pooling of the physical, human and financial capital). The diversity of user agents' perspectives is taken into account in the ABM through their respective individual spatial perceptions of resources and their regulations. This variable defines the range of land plots and water sources user agents perceive, allowing them to determine where the water sources and land plots are with the highest quantity of resources, and from which regulator agents these resources are managed. A user who wants to access a resource will send a request to the prevailing land regulator linked to each land plot he/she has found according to his/her perception range. This prevalence of a land regulation source is defined as the source of regulation which is the most mobilized by the users of the land plot already exploiting the concerned natural resource. For every season user agents adapt their choices of rural activities and update their portfolio of land access rights according to the results of their interactions with water and land regulator agents.

Table 5: Synopsis of the different choices of land regulators rationales. The different modelled objectives result from the field experiment in Senegal, and highlight the more or less distributive aspect of the different land management rationales. The different land regulators (land chief, local community, state) are not associated to one specific dominant rationale. They can follow any of them according to their diverse specific perspectives.

| Objective | Rationale | Distributive aspect |
|----------------------------|--|---------------------|
| Economic | The focus for allocating resource access rights is here on users' capital, regulator agents ranking requests of users with the highest capital | + - |
| Social | The focus for allocating resource access rights is here on the users themselves. A regulator agent following this rationale will adapt his/her access authorizations to the certainty that all the requesting users have at least one resource access right | + |
| Environmental conservation | The focus for allocating resource access rights is here on the conservation of the state of the resource environment. A regulator agent following this rationale will close access to land plots in his/her territory where the state of the resources is best to ensure their environmental sustainability | + - |
| Environmental restauration | The focus for allocating resource access rights is here on the restauration of the state of the resource environment. A regulator agent following this rationale will close access to land plots in his/her territory where the state of the resources is the worst, so as to allow their fast and effective reconstruction. | + |

2.5.3. Simulation settings

The general environment of the agent-based model aims to represent a region (a set of local communities). We set the land plot area of each land plot at 50 hectares, for a total of 900 land plots³². The proportion of each land type (Table 6) is randomly distributed within the environment in order to highlight the variability of this Sahelian environment. User agents represent the diversity of production means that different Sahelian rural families can possess (Table 6). At initialization, the overall environment of the model is divided into land territories managed by default by different land chiefs (representing the historical context, the weight of tradition). Water sources are initially (for dug and drilled wells) or at each beginning of rainy season (for ponds³³) randomly localized in the environment (see Figure 19).

³² the total area of the environment is therefore 45,000 hectares (450 km²)

³³ Ponds are temporary water sources which appear only in the rainy season (the number of ponds created varies according to the rainfall quality). Access to the ponds is free and does not require negotiating this access with any regulator.

Each land and water regulator agent randomly chooses an objective and therefore a rationale. Apart from the traditional land chief regulation, other regulator agents (local communities and state) are also created and linked to a set of land plots (or to the overall environment for the state agent), but they are not active as land regulators at the beginning of the simulation; they do not exist in the user agents' perception. During the simulation, it is possible for the modeler to introduce up to all the land regulation sources, and by doing so activate the State, and/or the local community as land regulators. It will potentially change the nature of the prevailing source of land regulation on the land plots concerned by the new land regulation introduction and consequently its mobilization by the user agents. A simulation consists of a succession of rainy and dry seasons (one year thus corresponds to two steps) which last the number of years considered necessary for the simulated scenario (Figure 20).

2.5.4. Observed indicators

For the particular set of simulations that we developed in this article, aiming to explore the potential impact a new land policy introduction pattern may have on its integration process—with regard to the plurality of land actors (users and regulators) perspectives—we chose to monitor the patterns of users' activities carried out under resource access rights obtained by the different land regulation sources (land chief, local community and state). User agents can conduct activities only on land plots for which the interactions with land regulators have succeeded in obtaining access rights. Monitoring these indicators therefore allows us to perceive the 'effective' land regulation pluralism (excluding interactions which have not succeeded) which seems relevant if we aim to explore the practical application pattern of a new land regulation in a land regulation environment.

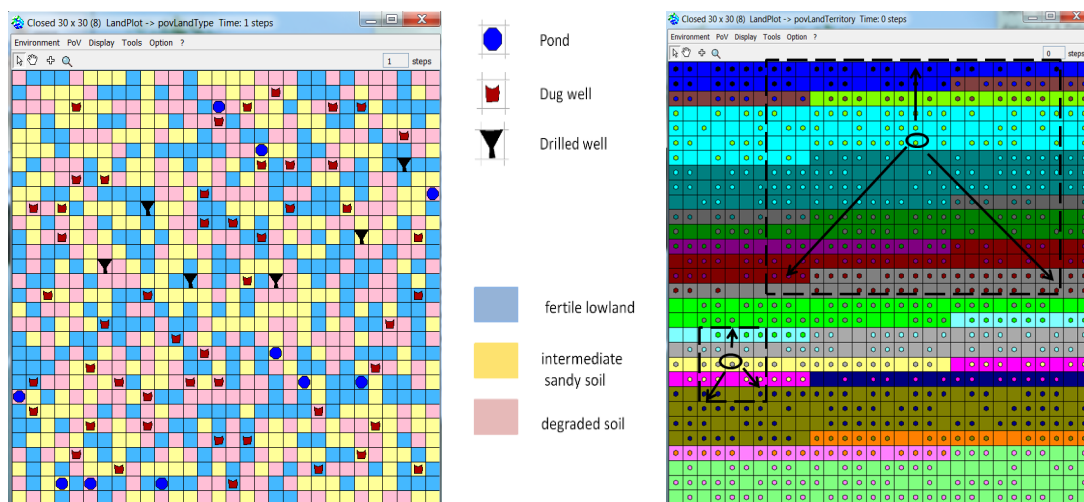


Figure 19: Spatial settings of a simulation. The left figure represents the random initial distribution of water sources within the agent-based model Sahelian environment. The right figure illustrates the diversity of perception levels, reflecting the level of information of the user agent. Perception level of the lower left user: 2; perception level of the upper right user: 10. The general environment represents the different land territories of the land chief agents (one colour for one land chief agent). The diversity of user agents' perceptions of resources and their land regulations reflects the idea that the level of information that land actors have about land regulations strongly varies from one user to another, i.e. some of them have a perception that does not extend beyond their village, or their land territory whereas others will know what is happening throughout the region (i.e. the total environment of the agent-based model).

Table 6: Calibration of the initialization for our set of simulation scenarios

| Number of entities created | | | |
|--|---|-----------------|--------------|
| Number of lowlands – spatial land plots | 300 | | |
| Number of sandy soils – spatial land plost | 300 | | |
| Number of degraded lands – spatial land plots | 300 | | |
| Number of state agents and their territories | 1 | | |
| Number of local community agents and their territories | 5 | | |
| Number of land chief agents and their territories | 20 | | |
| Number of dug wells and their water regulators | 100 | | |
| Number of drilled wells and their water regulators | 30 | | |
| Number of ponds | Good rainfall | Medium rainfall | Bad rainfall |
| | 30 | 15 | 10 |
| Number of user agents | 1000 | | |
| Value of the user agent variables | | | |
| Number of collective members for one user agent | Randomly chosen between 100 and 200 | | |
| Capital for one user agent | Each collective member of the family has an individual capital value chosen randomly among a range of individual capital values (1 5 10 20 50 100 500), and the final initial capital of the user agent is the sum of the various individual capitals | | |
| Perception of resources and their regulations for one user agent | Randomly chosen between 1 and 15 | | |

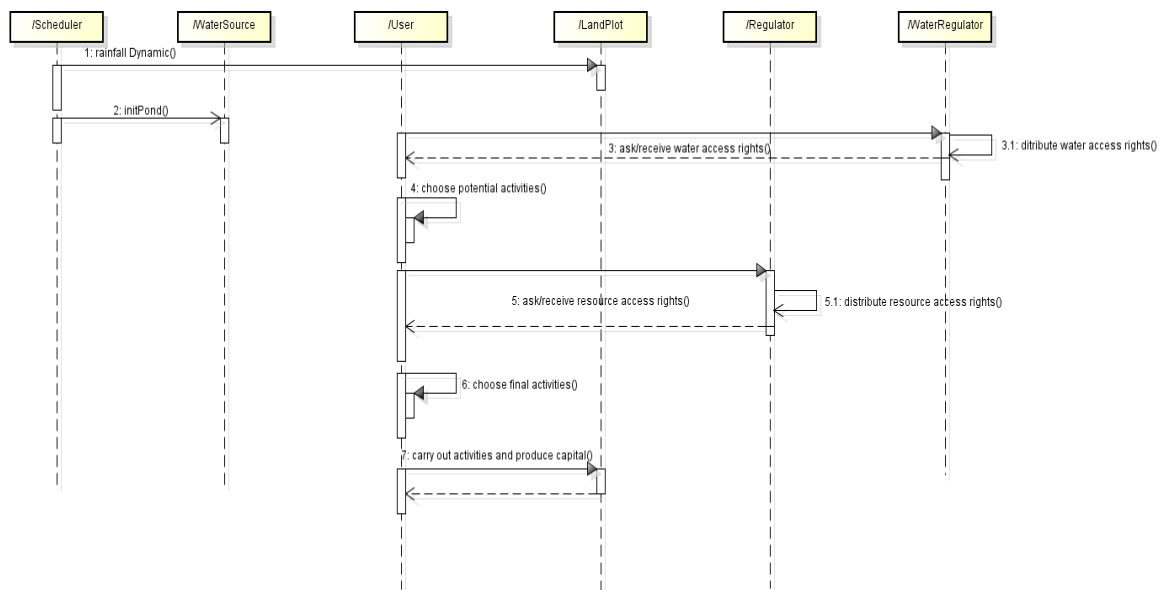


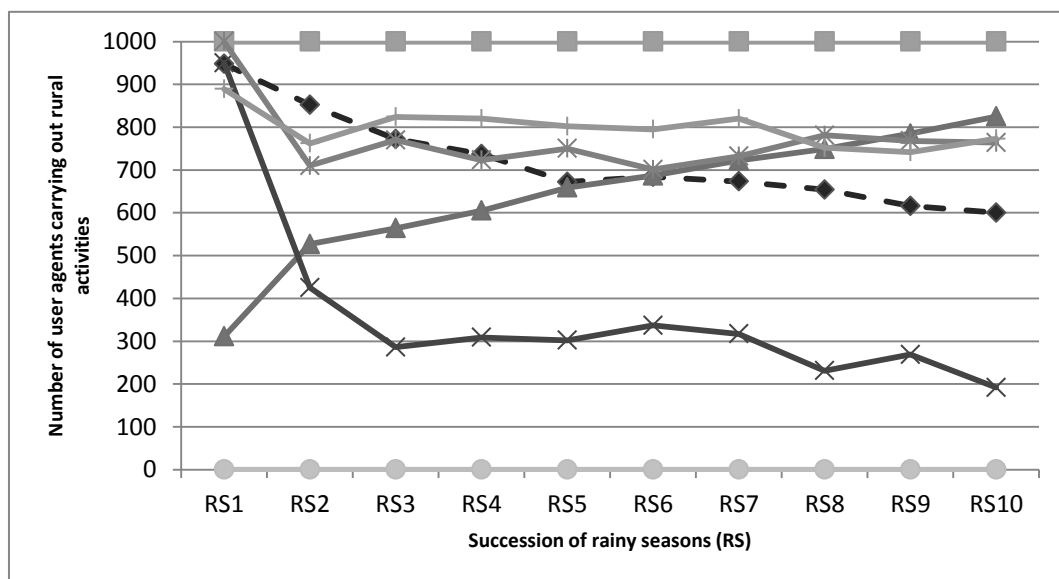
Figure 20: Sequence diagram of the rainy season step. Both steps (rainy and dry season) are similar. The main difference is that at the beginning of the rainy season we observe, linked to the rainfall, the renewal of natural resources and the formation of ponds, whereas at the beginning of dry season there is no natural resources reconstitution and the ponds disappear. Natural resource replenishment is linked to the quality annual rainfall. After the ecological dynamics, users begin both steps by asking the water regulators of the various water sources for water access rights. According to the positive or negative response of the water regulators, users make a first choice of activity. Another specificity of the dry season is that a user with no water access will not be able to undertake rural activities at all (any activity necessarily requires water in this period of the year). These choices of activities can lead to a need for natural resources that users ask from the various land regulators. According to what they finally obtain via the land regulators who follow their own rationales, users will maintain or modify their initial choice of activity, and eventually exploit and consume the various environmental resources in order to produce and improve their capital.

2.5.5. Model verification and validation

There are many ABM verification and validation approaches to check if a correct chosen agent-based model accurately represents real-world trends and patterns (Bousquet et al. 2003, Janssen and Ostrom 2006, Grimm 2006, 2010, Castella et al. 2007, Robinson et al. 2007, Filatova et al. 2013). Verifications have been done using complementary verification procedures: a code review by another agent-based modeler and a set of unit and stress tests, to control the behavior of the model and monitor it in extreme situations. Validations have been done through the simulation of a set of consistency checks aimed at ensuring that the fundamental structural and behavioral components in the agent-based model capture the main aspects of the default situation we seek to represent, with regard to the high use of randomization, thus illustrating the uncertainty that defines this complex Sahelian land regulation pluralism.

This validation revealed that the co-existence of the various processes and patterns observed via the agent-based model—allowing us to explore the complexity of this Sahelian natural resource management system—prevailed only in the pluralist default situation. This existing diversity was indeed reduced each time we reduced the random aspect (and therefore the plurality) of the significant parameters of the agent-based model. We particularly tested at this stage of the modelling process the influence of the plurality of land regulators rationales regarding land resources management, and showed that this diversity of land regulators' management objectives, leading to more or less distributive land access rights rationales (see Table 5), has an impact on the number of user agents (out of a total of 1000) who access land resources every cropping season (and consequently are able to carry out rural activities) (Figure 21).

Figure 21: Consistency tests on the fixation of regulator land management rationale. Each curve on the figure illustrates the proportion of user agents who are able to access the land resources and carry out rural activities for the succession of ten rainy seasons of a 20 time step, according to the different traditional land chiefs' regulation mode. The dry season trends are similar except for the fact that a lower number of user agents are concerned because they need to previously obtain water access rights in order to carry out their rural activities (and in the process mobilize land regulators to access resources). Each simulation scenario was repeated 20 times and each curve of the graphic represents a 20 repetition average.



| | |
|----------------------------------|---|
| —◆— Plurality | Each land chief agent of the model default situation randomly initially chooses a land management rationale. |
| —■— Social | All the land chief agents of the model default situation follow the same land management rationale prioritizing a social objective. |
| —▲— Economic 1 | All the land chief agents of the model default situation follow the same land management rationale prioritizing an economic objective. |
| —×— Economic 2 | All the land chief agents of the model follow the same land management rationale prioritizing an economic objective with only high land access prices distributed. |
| —※— Environmental conservation 1 | All the land chief agents of the model default situation follow the same land management rationale prioritizing a conservative environmental objective. |
| —●— Environmental conservation 2 | All the land chief agents of the model follow the same land management rationale prioritizing a conservative environmental objective on an environment only composed of fertile lowlands. |
| —+— Environmental restoration | All the land chief agents of the model default situation follow the same land management rationale prioritizing a restorative environmental objective. |

2.5.6. Simulation scenarios

As already explained, land use policies have accentuated this already existing complexity over time. Indeed, rather than abandoning their practices, local populations have added successively drawn up land tenure policies to their pre-existing regulation sources. As developed above (see part 2.4), this article seeks to explore via the use of an agent-based model if the intensity and configuration of a new land policy introduction as well as the land regulators for its implementation may impact the new land policy integration process by modifying the perception threshold (i.e. the proportion of adopters needed for Sahelian users to adopt the new land policy) above which the new land policy becomes one of the land regulation sources well-established in Sahelian users land access practices.

In order to explore different new land policy introduction patterns, we therefore chose for our set of simulation scenarios:

- To focus on the nature of the land regulators who implement the new land tenure policy introduced. The new land policy is introduced by the State or by the local community agents because they represent two different sources of external regulation in the traditional default land chief regulation. The State agent represents a single 'top-down' regulator with a single objective (which he/she randomly initially chooses) for allocating resource access rights on his/her land plots (representing the whole environment), while several local community agents are created, and each local community regulator agent initially chooses his/her own objective to manage the resources of his/her decentralized territory (representing a portion of the whole environment). The idea behind this separate introduction is to test if the integration of a new land policy is different depending on whether it is introduced through one central general regulator or through several decentralized local regulators;
- To focus on the initial intensity of the new land tenure policy introduction. Note that a user agent who wants to access a resource will send a request to the prevailing land regulator linked to each land plot he/she has found according to his/her perception range. The prevalence of a land regulation is defined in the agent-based model as the type of land regulator (land chief, local community or State) who is the most mobilized by the user agents of the land plot already exploiting the concerned resource. The new land policy is introduced in each land plot through a given proportion of 'fictive' users mobilizing the State or local community agents for accessing resources of the land plot. For this set of simulation scenarios, this proportion is set at 20. The simulation scenarios then consist of progressively

increasing the initial numbers of land plots concerned by this new land regulation introduction in order to approach, with some degree of precision, the perception thresholds. The choices of intensity calibration (the number of ‘fictive’ users per land plot as well as the range of numbers of concerned land plots explored) result from a previous exploratory stage of the introduction pattern simulation analysis;

- To focus on the initial configuration (i.e. the spatial distribution) of the new land tenure policy introduction. The new land policy is introduced either with a random (i.e. the land plots on which users are mobilizing the new land regulation source are randomly distributed within the whole environment of the agent-based model), or a contiguously localized distribution (i.e. the land plots on which users are mobilizing the new land regulation source are contiguous on a certain area of the environment of the agent-based model) (Figure 22).

Scenario simulations are based on a 10-year time steps, equivalent to 20 steps (one step = one dry/rainy cultural season) for each simulation (see Table 7).



Figure 22: Possible spatial distributions of a new land policy introduction pattern. The left figure represents the random introduction of a new land policy through a local community regulation for an initial intensity of ‘20 fictive users on each land plot for a total of 100 land plots’. The right figure represents the contiguously-localized introduction of a new land policy through a State regulation for the same initial introduction intensity.

Table 7: Overview of our set of simulation scenarios

| Nature of the land regulators for the land policy implementation | Spatial distribution of the land policy introduction | Scenario synopsis | Intensity of the new land policy introduction (as the number of land plots concerned, out of a total of 900) | Simulation number |
|--|--|--|--|-------------------|
| STATE | Random distribution | A new land policy is implemented by the State. Users mobilizing the State for accessing land resources are disseminated throughout the whole country, and local initiatives of land interaction with the State emerge from an increasing number of local areas in the country. | Variable from 1 to 91 (simulation increment: 10) | 1 |
| | | | Variable from 20 to 40 (simulation increment: 1) | 5 |
| | Contiguously-localized distribution | A new land policy is implemented by the State. Users mobilizing the State for accessing land resources are neighbors who share a common contiguous spatial area of the environment. This contiguous spatial area constitutes an increasing portion of the whole environment. | Variable from 1 to 91 (simulation increment: 10) | 3 |
| | | | Variable from 100 to 900 (simulation increment: 50) | 7 |

| | | | | |
|--------------------|--|--|--|---|
| LOCAL COMMUNITY | Random distribution | A new land policy is implemented by the local community regulators through a decentralization policy. Users mobilizing the local community regulators for accessing land resources are disseminated within the whole country, and land interaction initiatives with local communities emerge from an increasing number of local areas in the country. | Variable from 1 to 91 (simulation increment: 10) | 2 |
| | | | Variable from 20 to 40 (simulation increment: 1) | 6 |
| | Contiguously- localized distribution | A new land policy is implemented by the local community regulators through a decentralization policy. Users mobilizing the local community regulators for accessing land resources are neighbors who share a common contiguous spatial area of the environment. This contiguous spatial area constitutes an increasing portion of the whole environment. | Variable from 1 to 91 (simulation increment: 10) | 4 |
| | | | Variable from 100 to 900 (simulation increment: 50) | 8 |

3. Results of simulation experiments: a perception threshold exists and indeed depends on the choices of the new land policy introduction pattern

Results of the simulation scenarios (see Table 7) tend to confirm that there is a perception threshold, above which we observe sustainable mobilization of the new land policy by user agents for accessing land resources but under which this mobilization stays minimal, and that the expression of this perception threshold varies according to the new land policy introduction pattern. Each graphic of the figure 24 illustrates the integration of the different new land policy introduction patterns in the users' regulation mobilization practices, for the succession of the ten rainy seasons of a 20 time step simulation. The dry season trends are similar except for the fact that a lower number of user agents are concerned because they need to previously obtain water access rights in order to carry out their rural activities (and in the process mobilize land regulators to access resources).

Results (see figures 24.1, 24.3, 24.5 and 24.7) of simulations 1 to 4 (see Table 7) show that, regardless of the characteristics of the new land policy introduction pattern, the diverse user and regulator agent perspectives seem to play a role in the expression of varying adoption times and proportions resembling a typical S-shaped adoption rate (Hagerstrand, 1967, Schelling 1971, Granovetter 1978, Rogers 1995, 2003, Valente 1996, Stone 2001). The integration starts more or less slowly, then after a given time it takes off, indicating a marked increase in the growth rate, and finally it stabilizes when a certain level of adopters has been reached.

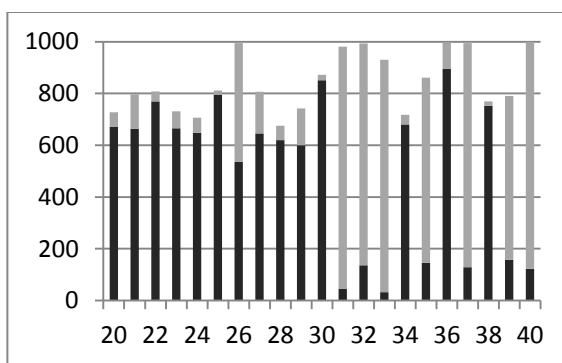
A perception threshold appears around an intensity value for the new land regulation introduction of 20-30 (i.e. the number of land plots, out of 900, concerned by the introduced change), irrespective of the nature or the spatial distribution of the new land policy introduced. This perception threshold however leads to a more rapid and widespread integration when the new land policy is initially randomly introduced within the entire environment than when it is introduced only in a contiguous localized area. Indeed, figures 24.1 and 24.5 show that above the perception threshold, 800 to 1000 users (out of a total of 1000 user agents created) mobilize the new land regulation source at the end of the simulation, whereas it concerns only 350 to 600 users in figures 24.3 and 24.7. And these proportions are rapidly achieved (from the second rainy season) when the introduction pattern is

random, whereas curves are slowly increasing to reach their final level when the introduction pattern is contiguously-localized.

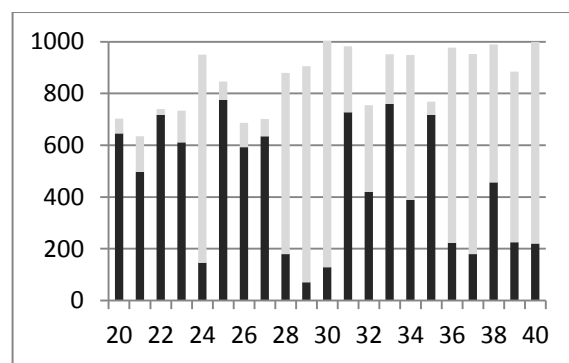
This last statement is confirmed by the impact of the new land policy introduction on the initial traditional land chief regulation (see figures 24.2, 24.4, 24.6 and 24.8). When the new land policy is randomly introduced, the results show that the land chief regulation pattern curve becomes reverse S-shaped, and above the same perception threshold (equivalent to an introduction of the new land policy on 20-30 land plots) the land chief regulation soon nearly disappears after a few rainy seasons (Figures 24.2 and 24.6), while when this introduction is contiguously localized it has almost no impact on the mobilization of land chief regulations by users (Figure 24.4 and 24.8). This leads to the conclusion that for the same intensity new land regulation introduction values, the pluralism of land regulation sources expresses itself longer (with regards to the diversity of agents' perspectives) in time when a new land policy is introduced in contiguous localized areas than when it is randomly introduced.

Results (Figure 23) of the simulations 5 and 6 (see Table 7) tend to confirm that for a random introduction of a new land policy, regardless of the choice of land regulators who implement it, the perception threshold above which the new land policy becomes one of the land regulation sources well-established in users' land access practices is localized around an intensity value interval of 20-30. Results from the figure 24 (see figures 24.3, 24.4, 24.7 and 24.8) showed that this same perception threshold value was not producing the same policy integration trend when the new land policy was introduced with a contiguously-localized spatial distribution. Indeed, a land regulation pluralism is still largely expressed and the initial land chief regulation remains the predominant land regulation source mobilized in users' land access practices. For a contiguously-localized introduction of a new land policy, the 20-30 perception threshold only initiate the integration of the new land regulation sources within users' land access practices. The perception threshold for a general integration of a new land policy introduced in contiguous areas therefore seems to be localized above a 100 land plot intensity introduction value.

8.1 New randomly introduced state regulation source
(simulation number 5 in the Table 7)

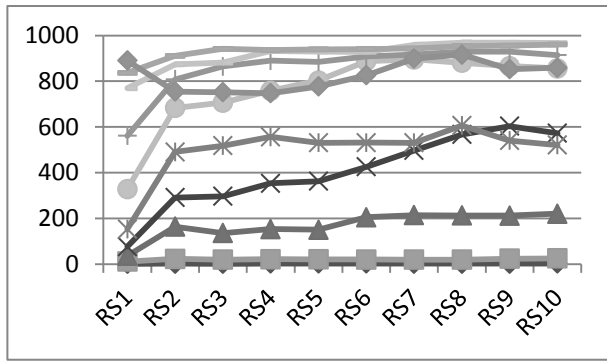


8.2 New randomly introduced local community regulation sources (simulation number 6 in the Table 7)

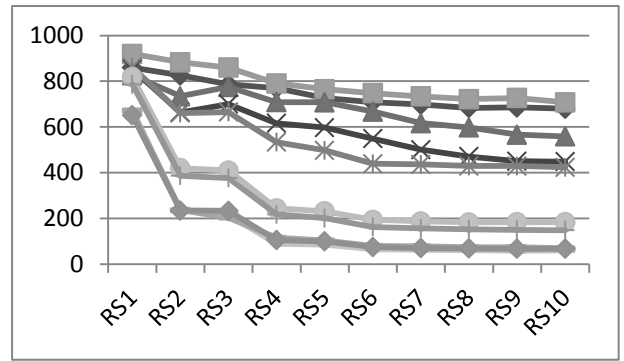


■ STATE REGULATION ■ LOCAL COMMUNITY REGULATION ■ LAND CHIEF REGULATION

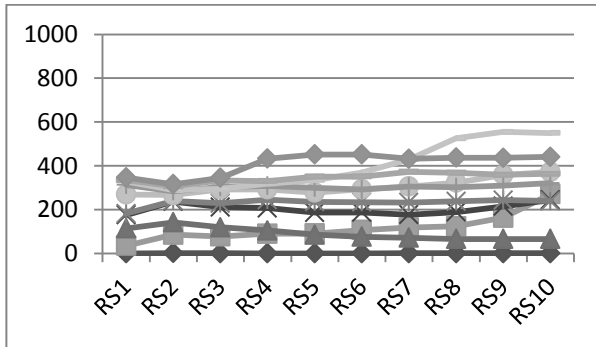
Figure 23: Detection of a new land tenure policy perception threshold for an initial random distribution in a pluralist land regulation. The x and y axes represent the number of user agents (y-axis) mobilizing each land regulation source according to different intensity values (x-axis) of the new land tenure policy introduction. Each graphic in the figure illustrates the integration of the different new regulation source introduction in users' land regulation mobilization practices for the last rainy season in a 20 time step simulation.



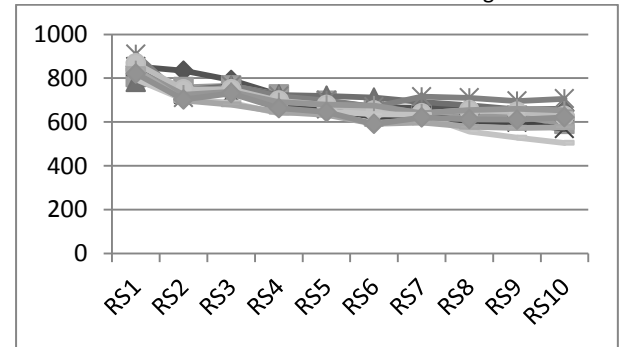
24.1 Integration patterns of a state new land regulation for a random introduction



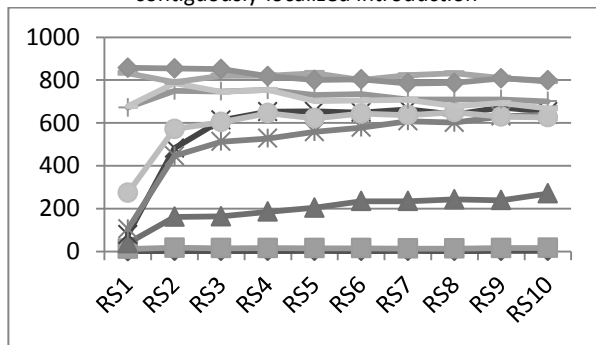
24.2 Impact of the state new land regulation randomly introduced on the traditional land chief regulation



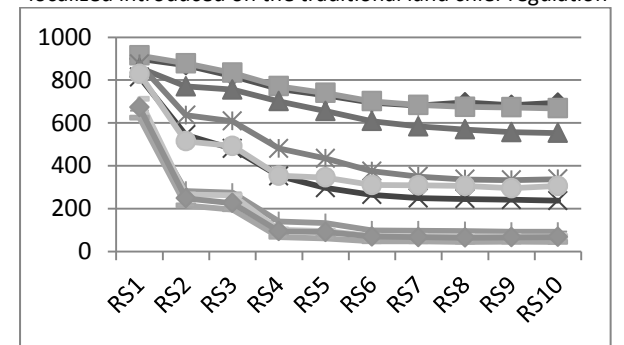
24.3 Integration patterns of a state new land regulation for a contiguously-localized introduction



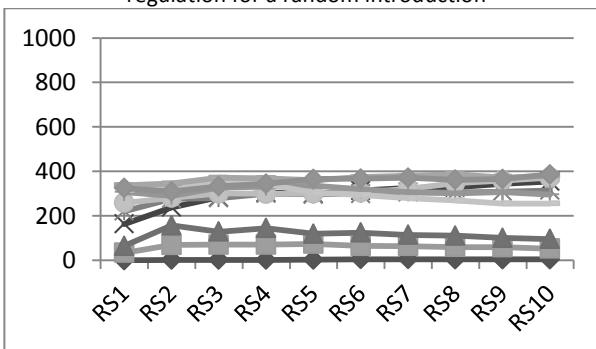
24.4 Impact of the state new land regulation contiguously-localized introduced on the traditional land chief regulation



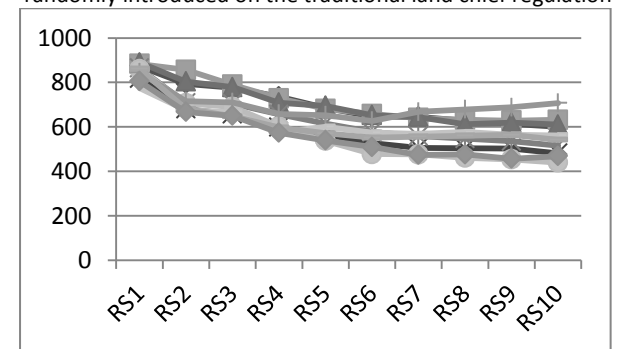
24.5 Integration patterns of a local community new land regulation for a random introduction



24.6 Impact of the local community new land regulation randomly introduced on the traditional land chief regulation



24.7 Integration patterns of a local community new land regulation for a contiguously-localized introduction



24.8 Impact of the local community new land regulation contiguously-localized introduced on the land chief regulation

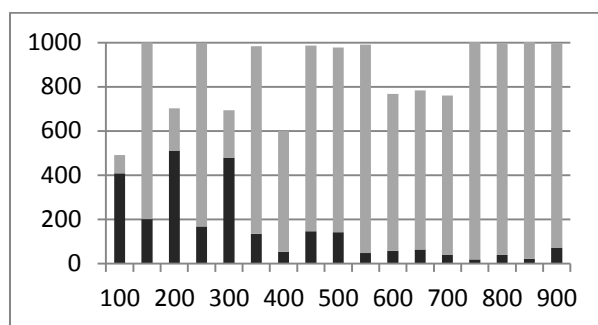
—●— 1 —■— 11 —▲— 21 —×— 31 —*— 41 —●— 51 —■— 61 —▲— 71 —×— 81 —*— 91

- Intensity value +

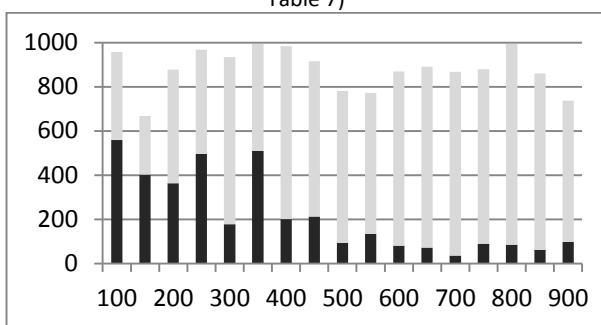
Figure 24: Integration patterns of a new land regulation source according to the characteristics of its introduction pattern (left column) and the impact on the initial traditional land chief regulation (right column). The x and y axes represent the number of user agents (y-axis) mobilizing the concerned land regulation during the rainy season (RS) (x-axis) according to different intensity values of introduction (i.e. the number of land plots concerned by the new land regulation introduction).

In order to assess the detection of a perception threshold for a new contiguously-localized land policy introduction, we ran a last set of simulation (see Table 7, simulations 7 and 8) for a 100-900 intensity value range for the new land policy introduction. Figure 25 shows that for this spatial distribution characteristic of a land policy introduction pattern, the perception threshold above which the new land policy becomes one of the land regulation sources well-established in users' land access practices is localized around an intensity value interval of 300-350.

9.1 Contiguously-localized introduction of a state new land regulation source (simulation number 7 in the Table 7)



9.2 Contiguously-localized introduction of local community new land regulation sources (simulation number 8 in the Table 7)



■ STATE REGULATION ■ LOCAL COMMUNITY REGULATION ■ LAND CHIEF REGULATION

Figure 25: Detection of a new land tenure policy perception threshold for an initial contiguously-localized distribution in a pluralist land regulation. The x and y axes represent the number of user agents (y-axis) mobilizing each land regulation source according to different intensity values (x-axis) of the new land tenure policy introduction. Each graphic in the figure illustrates the integration of the different new regulation source introduction in users' land regulation mobilization practices for the last rainy season in a 20 time step simulation.

Finally, the gathering of the results of the different simulation scenarios (Figures 23, 24 and 25) highlights the fact that the new land policy integration pattern also significantly depends on the choice of land regulators who implement the new land policy. The plurality of local community regulators' objectives for managing their respective territories indeed seems to favor a most frequent integration of the new land policy within user agents' practices than the single and exclusive land management objective of a State agent who is solely managing the overall environment. But if the State regulation passes the perception threshold and user agents decide to mobilize it, the integration of the new land policy in their land practices seems to be greater and exclusive. The diversity of land regulators' management objectives, leading to more or less distributive land access rights rationales (see Table 5), indeed has an impact on the number of user agents (out of a total of 1000) who access land resources (and consequently are able to carry out rural activities) (see part 2.5.5). These land management objectives also play a role in the speed of integration of the new land regulation within users' practices. When the rationale is highly distributive, it will rapidly concern a high number of user agents, who are therefore more likely to perceive land regulation changes in their neighbors' practices.

4. Discussion

Adequately modeling a policy integration process is a challenge due to the fact that humans interact, learn, innovate and adapt, at times unpredictably, in a social world that has a historical dimension (Maienhofer and Finholt 2002). The objective here was not so much to make point predictions regarding specific outcomes, but rather to explore and explain possible response distributions or behavior patterns (Valente and Rogers 1995, Schwarz and Ernst 2009). ABMs thus offer a tool that can help capture some of the essence of human interaction (Valente 1996), representing some basic

aspects of learning and adaptive behavior patterns in the real world (Janssen and de Vries 1998), therefore contributing to policy analysis studies (Stone 2001). And yet, apart from a few tries (Axelrod, 1997, Elink 2009, Luyet 2011), this approach is generally used for studying the diffusion of innovations (Berger 2001, Maïenhofer and Finholt 2002, Deffuant et al. 2002, Janssen 2005, Delre et al. 2007, Schwarz and Ernst 2009, Cantono and Silverberg 2009, Kiesling et al. 2012), rather than for studying the policy diffusion process.

The results of the first set of experimental simulation scenarios explored in this article seem to be in line with what previous research has shown in different scientific diffusion process research fields. Thus Schelling (1971) showed that the decision of a given entity to stay on place rather than to move (here to adopt a new land regulation) depends on the proportion of similar entities with which it is surrounded. Hägerstrand (1967) showed that this proportion of similar entities (linked to the diffusion process) depends on the way information spreads through social networks, with actors interactions being linked to the spatial distance between them. Works on policy diffusion (Berry 1994, Strang and Soule 1998, Elkins and Simmons 2005, Berry and Berry 2007, Weyland 2007) highlighted that policy diffusion often displays strong geographical clustering, new institutions or policies enacted in one country being much more likely to stimulate emulation in a close-by nation than halfway around the globe.

In our agent-based model, the diversity of spatial perceptions user agents have regarding resources and their regulations can prevent them from perceiving a change in land regulation when it is introduced in a contiguous area too far in the environment in regards with their own spatial localizations, whereas when the change is randomly introduced, the probability that the new land regulation will be mobilized in each user agent neighborhood (and therefore that a higher number of user agents will perceive it) is higher. Network structures around adopters influence the expression of the perception threshold above which the integration of the new introduced land policy becomes one of the land regulation sources well-established within users' land access practices. Valente (1996) named this particular perception threshold the 'critical mass'. This article helps specify that the constitution of this critical mass is not just a matter of time (Axelrod 1997) but also relies on spatial considerations, pointing out the power of space in determining the form and content of social relations (Simmel 1997, Gregory and Urry 1990, Baldry 1999).

Previous research has also shown that studies on diffusion (particularly those using ABMs) conventionally focus on the categorization of the adopters as measured by the time-of-adoption (Valente 1996). This categorization is linked to the fact that individuals vary in their willingness to take risks in adopting a new idea, product, or policy. A few individuals accept the risk of adopting a new behavior before anyone else. In contrast, most people are reluctant to adopt a new behavior and prefer to wait until other people have tried it first. This leads to a bell-shaped curve of expect adopters' distribution, including innovators, early adopters, the early majority, the late majority and laggards (Rogers 1995, 2003). This adopters' distribution curve is linked to the S-shape curve of rate adoption that can also be observed in our simulation scenario results (see Figure 24), even though in our modelled conceptual approach we did not opt to directly use this adopter categorization in the implementation of our social entities. In our approach, this variation in time-of-adoption results from Sahelian users' diversity of spatial perceptions regarding land resources and their regulations. All in all, the simulation succeeded in reproducing some of the diffusion processes studied in previous

research without focusing on a categorization of individual belief systems (Sabatier 1987, 2007) but on the contrary by searching to illustrate the diversity of these perceptions.

Moreover, the modelled mechanism of a land regulation source integration within Sahelians land access practices developed in the agent-based model reflect in policy diffusion the process of policy emulation (Abrahamson and Rosenkopf 1997, Rosenkopf and Abrahamson, 1999), defined as the process through which countries adopt a policy change because it is an accepted norm (Braun and Giraldi 2006). Norms are in the diffusion research defined as common beliefs that are shared by a large extent of a social system (Rogers 2003, Elkins and Simmons 2005). Emulation effects have been widely recognized as crucial factors in the policy diffusion process (Gray 1994, Abrahamson and Rosenkopf 1997, 1999, Weyland 2007), in line with three other mechanisms: learning from earlier adopters, economic competition, and enforcement³⁴ (Sabatier 1987, Berry and Berry 2007, Shipan and Volden 2008). By focusing on human-society-resource interactions rather than on actors individual belief systems, the agent-based model in its current form less explore the patterns of a new land policy integration through learning, economic competition or enforcement. Further research on these individual heterogeneities could supplement the present results by providing further insight into conditions that initially predispose Sahelian users towards the adoption or rejection of a new land policy, while placing emphasis on 'lower' perception thresholds—that we already detected in our current results (see Figure 24)—above which only a few individuals engage in collective behavior, before many others do (Granovetter 1978, Rogers 1995, Valente and Rogers 1995, Valente 1996).

In this article, by focusing on the expression of the 'critical mass' threshold—above which the integration of the new introduced land policy becomes one of the land regulation sources well-established within users' land access practices—the set of experimental simulation scenarios explored provides insight into the dynamic story and the (in)stability of a land regulation. The diversity of local interactions is producing non-linear observable macro-phenomena where the whole is greater than the sum of the parts (Epstein and Axtell 1996, Axelrod 1997, Robinson et al. 2007), creating a bridge between the use of ABMs to explore complex systems - such as Sahelian stakeholder-oriented land regulation pluralism - and the scientific field of institutionalist economics research. Established interactions between social and ecological dynamics for the need to access (and secure access) to the different land resources participate in legitimating different land regulation sources, or 'institutions', which are viewed here as thinking and behavior habits shared by a group of people (Veblen 1898, Commons 1931, Ostrom 2005). Habits can be modified with their own temporality, in a relatively autonomous way with regard to the others (Weyland 2007). These changes might impact the spatiotemporal expression of a regulation and consequently the overall stability of the regulation (Boyer 1995, Billaudot 2008), such as, in our case, a traditional land chief

³⁴ Apart from the fact that regulators can refuse access to resources to user agents, enforcement is not a diffusion mechanism directly considered in the agent-based model. Competition is also indirectly taken into account through the fact that different regulator agents can have the same land plot to manage on their respective territories, thus illustrating the overlap in land regulation systems and highlighting the fact that several users can ask for an access right to the same area and for the same resource, according to the regulation source they choose to mobilize. We will potentially find, in the agent-based model, three user agents trying to exploit resources of the same surface area on the same land plot, given for one by a land chief agent and for another by a local community agent, and for a third by the State agent. This type of potential conflict is treated at the end of interactions between users and regulators through random selection among the claims.

regulation. As institutions are inherited from past conditions, understanding them requires analysis of the social and historic processes by which they were first established (Chavance 2012).

5. Conclusion

The results of our first set of experimental simulation scenarios showed that the proportion of adopters needed in a Sahelian land regulation pluralist environment for a new land policy to be well-established in Sahelian users' land access practices largely depends on the characteristics (choice of regulators for the implementation, intensity and spatial distribution of the introduction) of the new land policy introduction pattern. The initial intensity of a new land policy introduction does not need to be high when it is randomly introduced, as the diversity of Sahelian users' spatial perceptions rapidly allow its widespread integration. Conversely, when the new land policy is introduced only in a contiguously-localized area, this same diversity of user agent spatial perceptions can prevent these agents from perceiving the land regulation change, and characteristics such as the intensity of introduction or the choice of regulators who implement it (in line with their own specific land management objectives) become significant elements determining the extent of the new land policy integration.

In terms of case selection, policy diffusion studies tend to deal with a subset of developed Western countries (Berry 1994, Elkins and Simmons 2005, Braun and Giraldi 2006, Sabatier 2007, Weyland 2007) whereas developing countries, and particularly Sahelian countries, are mostly overlooked in these analyses (Marsh and Sharman 2009). And even when studies focus on actors' knowledge and behaviors and the role they can play in policy diffusion processes, the analysis scale often remains that of the decision-makers (government, international organization, non-State actors, researchers, journalists etc.) (Sabatier 1987, Stone 2001) and few studies deal with the diffusion of a policy among individuals, according to their flexible, dynamic, uncertain and overall complex plurality of perspectives. By choosing to study a new land policy integration from the stakeholders diversity of perspectives, this article brings some new insight into the main questions regarding policy diffusion, such as why some policies diffuse faster than others or why regional policy diffusion patterns vary considerably (Weyland 2007, Meseguer and Gilardi 2009). Incorporating several models and theories could maybe make it possible to more adequately explore the diffusion process of a proposed policy, and in this regard agent-based modeling is a powerful tool allowing us to analyze: (i) the impact of agent heterogeneity on policy diffusion, (ii) the role of social influence in diffusion processes, and (iii) the influence of the policy introduction characteristics in its diffusion pattern (Kiesling et al. 2012)

Author contributions

Hermine Papazian, Patrick d'Aquino and François Bousquet developed the conceptual model. Hermine Papazian and François Bousquet did the programing of the model, design the simulation scenarios and analyzed the outputs. Hermine Papazian, François Bousquet, Martine Antona and Patrick d'Aquino largely contributed to the discussion developed in this article. Hermine Papazian wrote the article with the support and assistance of Patrick d'Aquino, Martine Antona and François Bousquet's attentive reviews.

Discussion générale

1. Introduction

Le modèle « orienté-acteurs » d'un pluralisme de régulation foncière que propose ce travail de thèse résulte d'un processus de conceptualisation progressive et très itérative sur la base d'aller-retours entre une diversité de concepts, d'outils méthodologiques, de travaux de terrain, d'angles d'approche et d'échelles d'analyse complémentaires. Ces différentes démarches se complètent pour former un cadre d'analyse dont résulte cette conceptualisation de la réalité au regard de l'objet d'étude - le pluralisme sahélien sous l'angle de la diversité des perceptions d'acteurs - que l'on cherchait à explorer, comprendre, expliciter.

Le terme « modèle » représente dans cette recherche une conceptualisation de la réalité, une « vue de l'esprit » analytique incomplète et partielle (comprenant des caractéristiques de la réalité qui nous intéressent en particulier) que nous nous créons en fonction de nos propres perceptions, pour permettre une représentation simplifiée d'un processus et la compréhension et traduction d'un ensemble de phénomènes qui possèdent entre eux certaines relations, sans lien de causalité univoque. La formalisation informatisée n'est donc qu'une adaptation possible du concept de modèle. La démarche progressive et itérative de conceptualisation (modélisation) consiste quant à elle à abstraire la complexité de la réalité pour mieux comprendre l'objet à explorer. Ce processus nécessite plusieurs visions du même problème pour aider à tendre vers une solution acceptable, les nombreux aller-retours successifs et nécessaires permettant de progressivement raffiner le niveau de détails de l'objet à explorer.

Ainsi la relation interactive entre le processus (les travaux successifs de terrain, depuis les enquêtes individuelles jusqu'aux ateliers de jeu de simulation) et le résultat (une représentation modélisée du pluralisme sahélien) a ainsi permis dans cette recherche de recueillir une appréhension à la fois théorique et empirique de la pluralité au Sahel. Les travaux relatés dans le premier chapitre mettent ainsi en lumière la diversité des perceptions individuelles des usagers sahéliens sur le terrain sénégalais, tandis que le deuxième chapitre propose une mise en situation d'action de cette pluralité de perceptions sous la forme d'un jeu de rôles dans deux zones rurales sénégalaises aux réalités foncières diversifiées. Le modèle multi-agents ensuite élaboré dans le troisième chapitre propose une mise en interaction à l'échelle d'un territoire sahélien non seulement de cette pluralité de perceptions mais aussi de celles (tout aussi plurielles) des régulateurs des ressources foncières. Enfin dans le quatrième chapitre la diversité de ces interactions est mise en dynamique dans le temps à travers des simulations du modèle multi-agents, ce qui nous permet de mieux appréhender et analyser l'expression d'un pluralisme de régulation à l'échelle d'un territoire Sahélien et ainsi d'explorer sa stabilité dans le temps en contexte(s) de réforme foncière.

2. Perspectives potentielles de recherche

2.1. Interactions eau-foncier : des dynamiques enchevêtrées

Dans le travail de recherche la ressource en eau a été considérée comme une des ressources comprises dans le terme « foncier », qui caractérise l'ensemble des ressources (terre, eau, végétaux etc.) susceptibles d'un usage. Ces liens eau-foncier ont ainsi été pris en compte dès le premier chapitre de la thèse, l'eau étant une des ressources foncières pour lesquelles on cherchait à appréhender les régulations d'accès et d'usage dans la grille d'enquête administrée (Annexe 1). Dans le processus de simulation participative réalisé dans le chapitre 2, ces liens eau-foncier se sont traduits par la possibilité pour les joueurs d'accéder (par l'investissement) à différents points d'eau : les puits non maçonnés, les puits maçonnés, et les forages. La réflexion associée à cette démarche était que l'investissement nécessaire à la mise en place de points d'eau serait réalisé par les usagers s'ils se sentaient assez sécurisés dans leurs droits d'accès à la terre pour le faire. Le modèle multi-agents réalisé dans le chapitre 3 a permis de prendre en compte ces liens eau-foncier en introduisant différents points d'eau (puits et forages) associés à différents régulateurs, ayant eux-aussi une diversité de logiques d'action possibles pour la distribution des droits d'accès à l'eau. A chaque début de saison culturale, les différents usagers commencent par demander des droits d'accès à l'eau aux régulateurs de ces différents points d'eau. Le choix de régulateur(s) mobilisé(s) dépend ici de la perception de l'espace que possède spécifiquement chaque usager, et qui conditionne le nombre de points d'eau qu'il perçoit exister dans son environnement. Le résultat de ses interactions avec les régulateurs de ces différents points d'eau influence le choix final d'activité rural de chaque usager pour la saison culturale (voir Annexe 2 partie 2). Ainsi un usager se retrouvant sans droit d'accès à l'eau au début d'une saison sèche ne sera pas en mesure de réaliser d'activité, et ne mobilisera pas de source de régulation foncière en conséquence pour chercher à accéder aux autres ressources foncières. Ces différents éléments ont joué sur les résultats obtenus dans les différents scénarios exploratoires simulés (chapitre 3 et 4), mais l'analyse des processus d'interaction des usagers et régulateurs des points d'eau n'a pas été directement réalisée dans les contraintes de temps de l'exercice de thèse. Un certain nombre d'indicateurs permettent néanmoins de suivre ces processus dans le modèle multi-agents (voir Annexe 2 partie 3). Des perspectives de recherche future pourraient ainsi réfléchir de manière plus aboutie aux liens inextricables unissant le foncier et l'eau dans la dynamique d'expression d'un pluralisme de régulation foncière (Bruns et Meinzen-Dick 2000, Pradhan et al. 2000, Hodgson 2004, Cotula et al. 2006, Merlet et Groppo 2011). Accéder (et sécuriser son accès) à l'eau est en effet un des fondements de la mobilité des populations sahéliennes (Gallais 1977, Thebaud 1990, 1995, Milleville 1992, Basset 2009).

2.2. Mise en dynamique des autres composantes du concept de faisceau de droits, au-delà de l'accès et l'usage des ressources

Si ce travail de thèse s'est particulièrement focalisé sur l'expression d'un pluralisme de régulations à propos de l'accès et l'usage des ressources (Ribot et Peluso 2003), le pluralisme de régulation « orienté-acteurs » tel que décrit ici pourrait être appliqué sur d'autres facettes des interactions foncières, qui mettent en jeu une diversité de perceptions d'acteurs : processus de règlements des conflits (Mathieu 1996, Jacob 2002, Barthès 2009), mécanismes de contrôle et de sanction (Bertrand et Weber 1995, Babin et al. 1997, Antona et al. 2004), processus de marchandisation et d'échanges,

systèmes de délégation de droits... Dans tous ces domaines de régulation, on pourrait tester l'hypothèse où chaque acteur puise dans les différentes références de régulation qu'il considère légitimes, les considérant chacune comme une source dans laquelle il mobilise l'une des règles, plutôt que comme un système global de régulation à respecter et intégrer dans sa totalité, au risque de voir ses choix invalidés ou « sanctionnés » par les sources de régulation qu'il n'a pas suffisamment mobilisées (Le Roy 2011).

Le travail présenté ici ne fait donc en particulier qu'introduire et peut-être un peu mieux comprendre l'origine des conflits pouvant résulter du « flou » (Metah et al. 1999) associé à l'expression d'un pluralisme de régulation, du fait que différents acteurs peuvent revendiquer des droits sur un même espace en se référant à des sources de régulation différentes (Toulmin 2008, Lavigne Delville 2010). Ainsi dans le chapitre 2, l'existence de tensions et de conflits sur les ressources dans les différentes zones étudiées est considérée comme l'expression visible d'une confrontation de perceptions et de légitimations diversifiées. Par l'introduction progressive de scénarios de tensions et de fragilisations foncières dans le jeu, on cherche ainsi à invoquer et faire invoquer par les participants les réalités de ces différents contextes. De son côté, le modèle sous sa forme de système multi-agents permet d'explorer les conflits potentiels apparaissant quand différents usagers cherchent à exploiter les ressources à travers des sources de régulation différentes (Annexe 2 parties 2 et 3). Des perspectives future de recherche pourraient consister à dépasser ce constat de conflit pour mettre en dynamique les processus de règlements, qui font ici aussi appel à différentes sources de régulation foncière pouvant notamment être liées aux spécificités des réseaux sociaux respectivement mobilisés par chacune des parties en conflit (Papazian 2013), et à leur combinaisons plurielles par le processus de médiation enclenché (cf. processus de palabres).

Par ailleurs, les Etats sahéliens étant souvent qualifiés d'Etats faibles en terme de capacités de régulation (Olivier de Sardan 2003, 2007, Chauveau et al. 2006), les politiques foncières successivement mises en place avant et depuis les indépendances des pays d'Afrique sahélienne ont souvent laissées le choix aux usagers d'initier d'eux-mêmes les démarches d'immatriculation de leurs espaces, pour convertir leurs droits fonciers traditionnels en certificats et/ou titres fonciers (Sénégal 1964, Niger 1993, Bénin 2007, Burkina Faso 2007). Les procédures de contrôle et de sanction officielles (auprès des usagers ou instances régulatrices qui ne respectent pas une politique foncière) sont par ailleurs peu effectives (Rochegude 1998, Toulmin et Quan 2000, Chauveau et al., 2006). Dans ce contexte, une pluralité de sources de contrôles et de sanctions existe néanmoins pour réguler l'accès, l'usage et les conflits sur les ressources foncières. Des perspectives futures de recherche pourraient consister à explorer (via des simulations à la fois par le jeu et informatisées) l'influence des éléments de contrôle et de sanction mis en œuvre par les différents régulateurs (dont l'Etat fait partie) , car ils influencent certainement les évolutions des processus de mobilisation par les acteurs d'une option de régulation au sein de leur pluralisme (chapitre 4) : la contrainte participe, comme l'imitation, l'apprentissage ou la compétition à l'évolution des comportements des acteurs d'une régulation (Sabatier 2007, Weyland 2007, Shipan et Volden 2008).

2.3. Amélioration de la prise en compte du processus d'adaptation

Ces différentes perspectives mettent en lumière l'importance de considérer les capacités d'adaptation des différents usagers sahéliens, car elles représentent un élément majeur de la flexibilité de la dynamique de régulation foncière dans un pluralisme de régulation. La prise en

compte de l'adaptation dans ce travail de thèse est essentiellement caractérisée par une adaptation des usagers sahéliens sur la base de ce qui est reconnu et légitimé par les autres usagers. En effet, la thèse, en adoptant progressivement une échelle d'observation plus englobante pour l'approche des interactions des hommes entre eux à propos de leur environnement, a finalement moins cherché à caractériser la diversité des logiques (préférences) individuelles des différents acteurs en matière de régulation foncière qu'à explorer les relations, dynamiques, pouvant les lier et les uns aux autres.

Ces préférences individuelles ont cependant été explorées, d'abord empiriquement par des méthodes d'enquête de sociologie qualitative (entretiens semi-directifs et histoires de vie, cf. premier chapitre) puis à travers une approche empirique complémentaire par l'expérimentation de simulations participatives (cf. deuxième chapitre). Ces simulations ont permis de recueillir de premiers éléments concernant les préférences individuelles (recueil complémentaire de résultats basé sur des enregistrements audio et associés à un suivi photographique de l'évolution spatiale de chaque plateau, permettant un suivi des processus décisionnels de chaque joueur) qui pourront permettre d'approfondir dans le futur cette échelle individuelle d'observation et d'analyse (Annexe 6).

Par ailleurs, le modèle multi-agents (chapitre 3) rend également possible de suivre la diversité des trajectoires individuelles des différents agents, qui possèdent certains éléments d'adaptation à l'échelle des préférences de l'individu. Ainsi la réflexion menée dans le chapitre 2 sur l'influence que la possibilité d'investir dans son activité peut jouer sur la perception de sécurité foncière et le choix de régulation foncière réalisé en conséquence par un usager, se retrouve dans le modèle formalisé en système multi-agents. Chaque usager y considère et adapte l'usage qu'il fera de ses droits fonciers d'une part en fonction de leur « force » (caractérisée dans le modèle par la durée reconnue à ce droit foncier) et d'autre part en fonction des possibilités d'investissement (droit d'usage/droit d'investir dans l'usage) qu'ils permettent (Annexe 2, partie 2).

En revanche, un des postulats du modèle multi-agents résultant de la nécessaire simplification de la complexité du réel en fonction de l'objectif prioritaire du modélisateur (ici la conceptualisation du pluralisme)- et qui limite ici la prise en compte de l'adaptation à l'échelle de chaque individu - est de considérer que l'ensemble des agents usagers respectent les règles foncières. Ainsi, un agent usager se retrouvant avec un droit d'usage alors qu'il souhaitait réaliser une activité intensive (qui nécessite plus qu'un simple droit d'usage) se restreindra finalement à une activité extensive. Et un agent usager se retrouvant sans aucun droit d'accès aux ressources au début d'une saison culturelle (du fait de l'échec de ses interactions avec les agents régulateurs) ne réalisera aucune activité. Ce point est notamment illustré dans les résultats de simulation des chapitres 3 et 4 où, en fonction des simulations, un plus ou moins grand nombre d'usagers bénéficie de droits d'accès aux ressources à la fin du pas de temps de simulation. C'est dans ces situations de crise que ces résultats de simulation mettent en exergue, où l'accès aux ressources foncières peut devenir un enjeu de survie, que peuvent se développer dans les réalités foncières une adaptation des règles (Ostrom 1990, 1994) foncières, ce qui rejoint les pistes de réflexion évoquées dans la partie 2.2 de cette discussion.

Le modèle multi-agents permet donc dans sa forme actuelle de simuler un processus d'adaptation et de légitimation des choix de régulation foncière des différents usagers exclusivement sur la base de ce qui est reconnu par les autres usagers. Une perspective future d'évolution du modèle multi-agent réalisé pourrait ainsi consister à explorer et inclure la prise en compte à l'échelle individuelle

d'éléments d'adaptation des règles dans les pratiques d'accès aux ressources foncières des usagers sahélien, en commençant par permettre aux agents usagers de garder en mémoire (Simon 1997) les résultats (réussites ou échecs) de leurs interactions avec les différents régulateurs, cette mémoire, pouvant traduire la confiance qu'un usager met dans une source de régulation (Rouchier 2000, 2001).

La réflexion sur l'angle d'approche (préférences individuelles ou interactions) en lien avec l'échelle d'observation (individu ou territoire sahélien) choisis pour l'appréhension « orienté-acteurs » d'un pluralisme de régulation met en exergue l'influence que ces choix d'échelle et d'angle d'approche peuvent avoir sur ce que l'on va recueillir et observer. C'est cet enjeu d'échelle que l'on souhaiterait discuter dans le point suivant de ces perspectives de recherche.

2.4. Exploration de la pluralité des échelles d'appréhension « orienté-acteurs » d'un pluralisme de régulation

Le travail de thèse a cherché à expérimenter différentes échelles d'analyse d'un pluralisme de régulation. Dans les deux premiers chapitres, on a appréhendé un pluralisme de régulation « sur le terrain », en laissant les acteurs illustrer (chapitre 1) et mettre en pratique (chapitre 2) leurs logiques individuelles de mobilisation de différentes sources de régulation foncière. L'échelle d'observation était alors celle des individus, et l'angle d'approche celui de la diversité de leurs préférences individuelles en matière de pratiques foncières. Puis dans les chapitres 3 et 4, on a cherché à appréhender un pluralisme de régulation en devenant un observateur extérieur, et en explorant l'expression dynamique dans le temps d'un pluralisme de régulation. L'échelle d'observation est ici devenue celle plus englobante d'un territoire sahélien, et l'angle d'approche celui des interactions des hommes entre eux à propos de leur environnement.

Lors de l'étape de formalisation du modèle « orienté-acteurs » en système multi-agents, les enjeux d'échelle ont fait partie des éléments que l'on a cherchés à prendre en compte (Annexe 2 partie 3 et fin de partie 5). On s'est posé la question du choix d'échelles spatiale et sociale à adopter pour représenter de manière cohérente des entités sociales évoluant en interaction avec des entités spatiales : est-ce que l'environnement du modèle multi-agents devrait représenter un terroir villageois ? Une communauté rurale ? Une région ? Un pays ? Et en lien avec ces questionnements d'échelle spatiale, est-ce que les agents usagers devraient représenter des individus ? Des familles ? Des villages ? Des communautés ? A chacune de ces échelles sociales on peut appréhender une diversité d'expressions d'un pluralisme de régulation, et notamment au regard de la grande richesse des relations interpersonnelles pouvant exister entre usagers et régulateurs de ces différentes échelles sociales (Freudenberger 1992, Chauveau 1994, Le Roy 1995b, Lavigne Delville et al. 2002, Jacob 2002, Colin 2004, Chauveau 2006).

Avec l'idée de pouvoir conserver une pluralité d'échelles spatiale et sociale d'observation possibles, on a donc créé dans le modèle multi-agents 3 choix possibles pour l'utilisateur du modèle : (A) observer une diversité de familles rurales évoluant sur un territoire représentant un terroir villageois, (B) observer une diversité de villages évoluant sur un territoire représentant un ensemble de communautés rurales et (C) observer des groupements de village évoluant sur un territoire représentant une grande région. La recherche s'est néanmoins vite confrontée aux limites et enjeux du changement d'échelle et des approches multi-niveaux dans ce que les phénomènes globaux

arrivent ou non à préserver de la diversité observée au niveau plus « localisé » des échelles individuelles, et des processus en cours (d'Aquino 1998, 2002a, 2002b, Ducrot et al. 2010). L'ensemble des scénarios de simulation exploratoires réalisés à partir du modèle multi-agents a finalement été réalisé à l'échelle d'un territoire représentant un ensemble de communautés rurales (B).

Une autre forme d'exploration de ces enjeux d'échelle dans le travail de thèse a consisté à considérer et chercher à représenter une quatrième source de régulation foncière dans la conceptualisation d'un modèle « orienté-acteurs », celle des régulations inter-usagers (illustrant les relations de prêt, métayage, location, tutorat, vente...) (Annexe 2, partie 2). Cette démarche exploratoire a été initiée par le fait que la distinction entre usagers et régulateurs n'est pas aussi clairement définie dans la réalité, plus complexe. Les acteurs y ont souvent de multiples « casquettes » et positions sociales, un chef de terre ou de village, un élu local, un préfet, un ministre, pouvant être lui-même usager des ressources par ailleurs. Un même acteur peut donc être amené à adopter une position d'utilisateur ou de régulateur en fonction des contextes. Et cette pluralité de positions influe également sur les perceptions et choix de régulation foncière qu'un acteur est amené à avoir. Ainsi, une perspective de recherche future pourra consister à explorer de manière plus approfondie les possibilités d'intégrer dans ce modèle de représentation du pluralisme la possibilité d'un processus de délégation de droits fonciers (donc qu'un agent puisse recevoir, en tant qu'« usager », des droits d'un autre puis puisse, en tant que « régulateur », les déléguer à un troisième), tout en conservant une cohérence entre ces différentes échelles sociales, spatiales et temporelles de logiques et d'interactions.

2.5. Exploration de la pertinence d'un pluralisme de régulation foncière pour la gestion des ressources naturelles sahéniennes

Un dernier point du travail et des perspectives de recherche sur lequel il semble intéressant de revenir concerne l'exploration de la pertinence des pratiques foncières plurielles des usagers sahéniens pour appréhender la grande variabilité et incertitude caractérisant leur environnement. Pour comprendre la dynamique d'expression « orienté-acteurs » d'un pluralisme de régulation, le travail de thèse a choisi d'analyser de manière approfondie les interactions sociales des hommes entre eux à propos de leur environnement, mais moins le lien entre ces dynamiques sociales et les dynamiques écologiques sahéniennes. Ces liens entre dynamiques sociales et dynamiques écologiques ont néanmoins été pris en compte dans l'exercice de formalisation du modèle en jeu de rôles (chapitre 2), puis en système multi-agents (chapitre 3). Ainsi, plusieurs indicateurs permettent de suivre les effets que les différentes pratiques foncières des agents usagers ont sur l'état des ressources de leur environnement, et sur la répartition des richesses qui découlent de cette diversité de pratiques (Annexe 2, partie 3). De premiers scénarios de simulation exploratoire réalisés (Annexe 2, partie 4) ont par ailleurs déjà illustré qu'une forme d'équilibre se créait en situation de pluralisme foncier, entre accès et usage des ressources par les usagers et état environnemental de ces ressources sahéniennes. Cet équilibre était bousculé dès lors que l'on fixait dans la simulation des paramètres constitutifs de l'expression d'un pluralisme de régulation, à savoir l'incertitude, le dynamisme, et la pluralité. Ces premiers scénarios de simulation ont été réalisés dans un contexte de « situation par défaut » où seules les sources de régulation traditionnelles par les chefs de terre étaient perçues par les usagers. Des perspectives de recherche future pourraient ainsi utiliser cette proposition de modélisation du pluralisme pour évaluer de manière plus approfondie son potentiel

intérêt au regard de la préservation des ressources en environnement incertain, en évaluant les effets comparatifs de scénarios où les usagers respectent et suivent un seul système de régulation foncière, avec des scénarios où la flexibilité entre systèmes de régulation est rendue possible. En effet, si ces pratiques introduisent certes une complexité et un certain « flou » elles semblent présenter certains avantages pour la mise en valeur de ressources naturelles gouvernées par l'incertitude climatique depuis des siècles, où la flexibilité, la souplesse et l'adaptabilité sont des qualités primordiales (Ellis 1988, Behnke et Scoones 1992, Bernus et Boutrais 1994, Winter 1998, Berkes et al. 2000, d'Aquino et Bah 2013a, 2013b).

3. De la pluralité des perceptions au pluralisme des mondes

De nombreux travaux de recherche ont déjà multiplié les concepts, les angles d'approche, les échelles d'analyse, les outils et les domaines scientifiques pour explorer et illustrer ces phénomènes de pluralisme de régulation. Les constats ci-dessus formulés illustrent à quel point l'appréhension de ce pluralisme est complexe. L'apport de cette thèse dans ce vaste champ de recherche aura été d'appréhender le concept de pluralisme sahélien non pas comme une « réalité statique » mais comme un processus constamment évolutif, lié à une expression incertaine, plurielle et dynamique de la diversité des perceptions des acteurs qui le définissent et en légitiment la pratique.

Ces comportements flexibles et élastiques que les usagers sahéliens adoptent au regard des différents « systèmes » de régulation, soulignent la grande différence qu'il peut y avoir entre ces logiques locales profanes et la manière, souvent systémique, qu'a le monde scientifique de se représenter le monde. Cela rend très délicat tout exercice de retranscription de l'essence de ces logiques profanes dans un cadre de formalisation scientifique. N'importe quelle retranscription sur la base des outils scientifiques existants (dont les grilles d'enquête, les jeux de rôles, les systèmes multi-agents font aussi partie) porte le risque de « figer » un ensemble de règles et de principes qui est en fait en constante dynamique, évoluant et s'adaptant continuellement au fil des contextes et des interactions. C'est principalement l'enjeu d'une représentation pertinente du pluralisme que d'éviter de « figer » ces règles ou les acteurs les mettant en œuvre, et c'est ce qui a orienté le travail de recherche (dans la limite de ce que les outils scientifiques permettent de faire) vers une approche compréhensive de ce processus dynamique.

La sécurité foncière est un sentiment, une perception, fruit d'un processus dynamique qui change et s'adapte en fonction des conditions d'un contexte donné (Le Roy 1999). Essayer de formaliser sous une représentation les logiques et règles permettant de répondre à cet enjeu de sécurisation foncière prend le risque de leur faire perdre ce qui constitue leur principe le plus innovant : la capacité individuelle et collective de s'adapter continuellement, dans un ensemble collectif en coordination mouvante (cf. le « flou »), et sans jamais se rattacher à un seul cadre ou système de régulation (Le Roy 2011).

La réflexion menée dans ce travail de thèse rejoint ainsi le large débat en cours depuis le début des années 2000 sur les orientations des politiques foncières sahéliennes ayant pour enjeu d'améliorer la sécurisation foncière des usagers sahéliens. Au-delà du lien problématique entre formalisation³⁵ et

³⁵ Le terme « formalisation » est ici employé au sens de donner une forme écrite et juridique à des droits fonciers qui n'en bénéficient pas et que l'on qualifie souvent « d'informels » ou « d'extra-légaux » (Comité technique « Foncier et développement », 2015).

sécurisation des droits locaux (Comité technique « Foncier et développement, 2015), la nature dynamique et évolutive des modes de régulation foncière sahéliens continue à interroger sur les risques et les possibilités de les formaliser de manière « figée », que l'on choisisse comme angle d'approche un enregistrement initial de la complexité des droits historiques (Gastaldi 1998, Chauveau 2003, Lavigne Delville 2006b, Colin et al. 2010, Chauveau 2013) ou celui d'un enregistrement progressif des mutations foncières locales (Mathieu et al., 2003, Comby et Gerber 2007, Colin 2013). Ces interrogations peuvent être en partie liées à la difficulté pour le monde scientifique et l'expertise occidentale à concevoir la sécurisation en dehors de la clarification, alors que ces zones de « flou » et de non-dits relèvent d'interactions sociales, spatiales et temporelles qui pourraient assurer la sécurisation. Ces limites peuvent être également liées au fait que le concept de pluralisme est souvent abordé et étudié sous l'angle juridique (on parle ainsi de pluralisme juridique, légal) d'un droit se présentant comme universel et autonome à l'égard de la société, neutre d'effets sociaux et anhistorique (Le Roy 1991, 2002). Il est moins abordé sous l'angle de la diversité de perceptions et pratiques d'acteurs (Le Roy 1999, d'Aquino et al. 2002c, Toulmin 2008) qui fondent les interactions hommes-sociétés-ressources, et se faisant façonnent leurs régulations foncières et leur propre forme de juridicité, peut-être plus étendue que la conception du droit développée par les sociétés occidentales modernes (Le Roy 2009).

Le modèle de pluralisme de régulation développé dans cette thèse ne se limite donc pas à une approche juridique dualiste formel/informel. Il y a du pluralisme dans le formel et au moins autant dans l'informel, le concept est beaucoup plus large et « le » pluralisme en tant que tel n'existe pas, il est lui-même pluriel, d'un acteur à l'autre (Le Roy 1999, 2013). Si le terme de pluralité renvoie au constat d'une diversité d'éléments, celui de pluralisme implique que l'on considère la pluralité comme une solution vers laquelle tendre. Il sous-entend que ce pluralisme de régulation « *reflète avant tout le pluralisme des mondes* » (Le Roy 2013), résultant d'une diversité de perceptions d'acteurs, ici issus de pays occidentaux et de pays d'Afrique sahélienne, mais que l'on pourrait élargir à d'autres positions culturelles. Ainsi, à partir de la recherche d'un modèle « orienté-acteurs » d'un pluralisme de régulation, cette recherche se retrouve *in fine* devant un cadre d'analyse qui permettrait de faire dialoguer différentes perceptions d'acteurs sur ce concept même de pluralisme de régulation. Aider à ce dialogue nécessite de réfléchir à ce qui fait sens commun, et au modèle ou « socle commun » qui autoriserait l'expression de différentes perceptions. Et en ce sens, l'association interactive, dynamique et participative de la modélisation multi-agents et des jeux de rôles permet d'explorer la complexité de la gestion et de l'usage des ressources naturelles d'une manière plus flexible, en favorisant en particulier une plus grande intégration de la diversité des perceptions des usagers et des régulateurs de ces ressources (Etienne 2010). Ce choix de cadre méthodologique, représentant le « socle commun » de fondements théoriques pluridisciplinaires (ComMod 2005), a également progressivement permis l'évolution des perceptions des scientifiques et des modélisateurs de nombreux domaines scientifiques vers une meilleure compréhension des processus d'expression des logiques profanes, de leurs avantages, et de leur pertinence.

4. Conclusion

A travers le dialogue permanent entre différents concepts, outils, travaux de terrain au Sénégal, et angles d'approche de la réflexion menée, le travail de thèse ici présenté sous la forme de quatre articles propose donc un modèle « orienté-acteurs » de pluralisme de régulation foncière qui représente une grille de lecture, une vision possible, du concept de pluralisme sahélien.

Si un pluralisme en matière de régulation foncière persiste dans ces contextes sahéliens de grandes incertitudes climatique et économique, c'est parce qu'il continue de faire sens pour les acteurs qui le définissent. Au regard des perceptions spécifiques et diversifiées que les acteurs ont des ressources de leur environnement, des manières de les réguler, et de ce qu'ils mobilisent, créent, et interprètent en conséquence, ces acteurs donnent sens à une pluralité de sources de régulation foncière. L'expression d'un pluralisme de régulation est dans cette approche considérée comme la résultante globale de l'assemblage de cette diversité de perceptions et de pratiques foncières dans le temps et l'espace.

Cette vision « orienté-acteurs » nous a amené dans cette recherche à considérer les différents systèmes de régulation comme de simples « sources » de régulation, potentiellement mobilisables par un acteur et donc pas automatiquement appliqués. Le terme de source traduit l'idée que les usagers puisent de façon partielle dans un ensemble de règles et d'instances régulatrices, sans impératif systémique : ce n'est pas parce qu'un usager décide à un instant *t* de mobiliser telle autorité ou telle règle qu'il embrassera forcément l'intégralité du fonctionnement, et de la logique, du système qui lui sont associés.

Les travaux réalisés montrent que les individus d'une communauté se constituent leur propre portefeuille de règles foncières, spécifique à chaque individu au regard de ce qui fait sens pour lui, et de ce qu'il a conscience de pouvoir ou non mobiliser. Ce que contient ce portefeuille (et qui n'est pas fixe, mais flexible et dynamique dans le temps et au gré des contextes) dépend d'une multitude de critères, pouvant être notamment liés au positionnement de l'individu dans l'espace spatial et social (comme le sexe, l'âge, le statut social au sein des différents collectifs familial, villageois, lignager, religieux, politique...), son niveau de capital financier, mais aussi son histoire, à savoir sa localisation géographique, son ancienneté dans la zone, son héritage (en terre, en cheptel, en savoir-faire...) et enfin les sources de régulation auquel il a accès. En ce sens, les politiques foncières présentes et passées de l'État modifient ce portefeuille en y ajoutant de nouvelles sources de régulation (les différentes politiques foncières successivement appliquées restant souvent prégnantes chez les acteurs même si elles sont officiellement obsolètes).

C'est de l'assemblage de ces différents portefeuilles que résulte le pluralisme de régulation foncière que l'on peut observer. A notre échelle « d'observateur extérieur », on peut être tenté d'avoir une vision globale essayant de décrire un ensemble exhaustif de règles foncières auquel l'ensemble des individus auraient « théoriquement » tous accès, et que l'on nommerait pluralisme de régulation, mais à l'échelle de chaque individu, cette vision globale, et « figée » n'existe pas forcément. Le concept de pluralisme de régulation est ainsi lui-même pluriel (Le Roy 1999, 2013), et dynamique, en fonction de l'échelle spatiale et temporelle où l'on décide de l'observer. En fonction de leurs perceptions respectives, les acteurs locaux se constituent leur propre « puzzle de fonctionnement »

respectif en allant puiser les pièces de ce puzzle dans les différents systèmes qui leur sont proposés. Ce puzzle évolue dans le temps, au fil des expériences vécues et des interactions sociales locales, qui font évoluer la légitimité de tel ou tel système de régulation, ou plutôt de telle ou telle façon d'extraire une règle d'un système de régulation.

Si la constitution de ce puzzle, ou portefeuille de règles foncières, est spécifique à chaque usager et dynamique dans le temps et l'espace, ce processus individuel est lié à un certain nombre de valeurs communes qui conditionnent les choix de mobilisation des différents usagers. Ainsi, les usagers mobilisent parmi les sources de régulation qu'ils considèrent respectivement exister celles qui sécurisent le mieux leur accès à chacune des ressources qu'ils souhaitent exploiter, au regard du contexte donné et du type d'exploitation envisagé pour chaque ressource sollicitée. Au-delà de la nature de l'activité envisagée, cette perception de sécurité foncière semble également en partie reposer sur ce qui est reconnu par les autres, car cette reconnaissance assure à l'utilisateur une non-contestation de ses droits fonciers (Bruce et Migot-Adholla 1994, Le Roy 1999, Rouchier 2000, Toulmin 2008, Aubert 2013). Les usagers légitiment ainsi leurs logiques de mobilisation d'un pluralisme de régulation, en s'adaptant à la source de régulation foncière prédominante, qu'elle soit officielle ou pas, dans la zone où se situe la ressource dont l'utilisateur nécessite l'accès. Les critères sociaux et la stabilité sociale de l'ensemble complexe hommes-société-ressources font donc encore grandement partie des processus décisionnels. Cette légitimation par une reconnaissance par les pairs peut également expliquer pourquoi dans les contextes où le fait de sécuriser son activité par l'obtention d'un « papier » est installé dans la réalité des pratiques, cela peut faire sens pour les usagers et qu'ils mobilisent cette source de régulation foncière en conséquence, là où dans d'autres contextes, cette sécurisation peut encore se faire sur la base de réalités foncières exclusivement « traditionnelles ».

La nature des nouvelles sources de régulation introduites par des politiques foncières ne semble par ailleurs pas avoir de valeur en soi pour les acteurs, ils la choisissent de manière stratégique parce qu'elle semble constituer ce qui sécurisera le mieux leur accès au foncier dans ces nouveaux contextes d'insécurité foncière où leurs pratiques actuelles ne suffisent plus. Ces sources de régulation ne résultant pas initialement des pratiques des acteurs, ils les considèrent en effet avec une certaine distance, et ne les mobilisent que dans les zones où leurs pairs les ont déjà au préalable légitimés dans leurs pratiques d'accès. Cette légitimation semble d'ailleurs viser d'avantage à se protéger contre les effets possibles de ces nouvelles régulations « imposées » qu'à sécuriser des droits susceptibles d'être remis en cause localement.

Ainsi, la diversité des perceptions individuelles mises en interaction à l'échelle locale crée des formes de régularité et des phénomènes à l'échelle englobante, celle d'un territoire sahélien. En faisant localement vivre les règles en fonction de comment ils les comprennent et les interprètent collectivement, les acteurs produisent des valeurs communes, des principes communs (Ostrom 1990 et 2010, Chauveau 1994, Lavigne Delville et Hochet 2005) et des institutions (Veblen 1899, Commons 1931, Ostrom 2005) qui ont pour espace d'expression la globalité du territoire sahélien. Si la diversité des perceptions d'acteurs quand ils interagissent pour accéder aux ressources naturelles est l'essence d'un pluralisme de régulation, ce pluralisme de régulation conditionne en retour lui-même ce que les acteurs perçoivent et considèrent mobiliser. La connaissance commune qui émerge à l'échelle globale d'un territoire sahélien est plus que la somme des perceptions individuelles des

différents acteurs (Epstein et Axtell 1996). Chaque usager est influencé dans ses choix par cette connaissance commune, et en retour ses choix individuels contribuent à faire évoluer cette connaissance commune, sans déterminisme dans un sens ou dans l'autre (Veblen 1898, Boyer 1995, Dulong 2012), mais dans une relation interactive et dynamique.

Finalement « *tout change, et la seule chose qui ne change pas c'est que tout change* » (Le Roy 1999, p.171). Bien que cela puisse être théoriquement incohérent, c'est de cette façon que la plupart des systèmes de régulation concernant le foncier sont en pratique mis en œuvre, d'où l'expression d'un pluralisme « orienté-acteurs », qu'il pouvait devenir utile d'analyser et de tenter de conceptualiser. Questionner quelle place peut aujourd'hui avoir un pluralisme de régulation dans les politiques foncières au Sahel rural commence donc par permettre le dialogue entre une pluralité de perceptions (rendue possible par le choix de cadre d'expression adopté), sur le sens que l'on donne à ce concept, le débat s'ouvrant ainsi à la participation de différents cercles d'acteurs (des pays occidentaux comme des pays d'Afrique sahélienne) pouvant trouver un intérêt à cette question.

Références bibliographiques

- Abbot J., Chambers R., Dunn C., Harris T., de Merode E., Porter G., Townsend J., Weineret D. (1998). Participatory GIS: opportunity or oxymoron? *Participatory Learning & Action Notes* (33): 27-34
- Abrahamson E., Rosenkopf L. (1997). Social Network Effects on the Extent of Innovation Diffusion: A Computer Simulation. *Organization Science* 8(3):289–309.
- Alchian A., Demsetz H. (1973). The Property Right Paradigm, *Journal of Economic History* 33(1):16-27
- Alkemade F., Castaldi C. (2005). Strategies for the diffusion of innovations on social networks, *Computational Economics* 25(1–2):3–23
- An L. (2012). Modeling human decisions in coupled human and natural systems: review of agent-based models, *Ecological Modelling* 229: 25-36.
- Anderies J.M. (2000). On modeling human behavior and institutions in simple ecological economic systems, *Ecological Economics* 35: 393–412.
- Antona M., Motte Biénabe E., Salles J.-M., Péchard G., Aubert S., Ratsimbarison R. (2004). Rights transfers in Madagascar biodiversity policies: achievements and significance, *Environment and Development Economics*, Cambridge University Press (CUP), 9, Issue 6, pp. 825-847
- Aubert S. (2013). La reconnaissance de la juridicité des relations que les hommes entretiennent entre eux à propos de la terre comme processus de sécurisation foncière. Application à la forêt malgache d'Ambohilero, In : *Le Roy, E., (Ed), La terre et l'homme, Espaces et ressource convoités, entre le local et le global*, Paris, Karthala, pp. 87-113
- Axelrod R. (1976). *Structure of Decision: the Cognitive Maps of Political Elites*, Princeton University Press
- Axelrod R. (1997). *The Complexity of Cooperation: Agent-Based Models of Competition and Collaboration*, Princeton University Press
- Babin D., Bertrand A., Weber J., Antona M. (1997). Médiation patrimoniale et subsidiarité : Gestion du pluralisme au service de la foresterie et du développement rural durables, In : *Pluralism and sustainable forestry and rural development*, FAO, IUFRO, CIRAD-Forêt, Rome : FAO, 277-303
- Bakker M., Jamal Alam S., van Dijk J., Rounsevell M.D.A. (2015). Land-use change arising from rural land exchange: an agent-based simulation model, *Landscape Ecology* 30 (2): 273-286
- Baldry C. (1999). Space - The final frontier, *Sociology* 33: 535-553
- Banque mondiale (2008). *L'agriculture au service du développement*, Rapport sur le développement dans le monde, Hors collection, 456p.
- Barreteau O., Bousquet F., Weber J. (1997). Modes de gestion et viabilité des périmètres irrigués: questions de représentation. In : *Tendances nouvelles en modélisation pour l'environnement*, Blasco F. ed., Paris, France, pp. 153-159, Elsevier
- Barreteau O., Bousquet F., Attonaty J.-M. (2001). Role-playing game for opening black box of multi-agent systems : method and lessons of its application to Senegal River Valley irrigated systems. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation* 4(2): <http://jasss.soc.surrey.ac.uk/4/2/5.html>
- Barreteau O., Antona M., d'Aquino P., Aubert S., Boissau S., Bousquet F., Daré W., Étienne M., Le Page C., Mathevet R., Trébuil G., and Weber J. (2003a). Our companion modelling approach, *Journal of Artificial Societies and Social Simulation* 6(2) : <http://jasss.soc.surrey.ac.uk/6/2/1.html>
- Barreteau O., Le Page, C., D'Aquino P. (2003b). Role-Playing Games, Models and Negotiation Processes. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation* 6(2): <http://jasss.soc.surrey.ac.uk/6/2/10.html>
- Barrières O. (2008), Introduction générale. Les régulations juridiques foncières et environnementales, clefs de voûte du développement durable, In : *Barrières O., Rochegude A. (eds), Foncier et*

- environnement en Afrique, des acteurs au(x) droit(s), Cahiers d'Anthropologie du droit 2007-2008, Laboratoire d'anthropologie juridique de Paris, Karthala, pp. 7-22*
- Barthès C. (2009). Effets de la régularisation foncière à Mayotte. Pluralisme, incertitude, jeux d'acteurs et métissage, *Économie rurale* [En ligne], URL : <http://economierurale.revues.org/2376>
- Bassett, T., Crummey D. (1993). Introduction: The land question and agricultural transformation in Sub-Saharan Africa, In: *Bassett T., Crummey D. (eds), Land in African agrarian systems, Madison, Wisconsin Editions, 3-31*
- Bassett T. (2009). Mobile pastoralism on the brink of land privatization in Northern Côte d'Ivoire, *Geoforum* 40 (5): 756-766
- Behnke R.H., Scoones I. (1992). Repenser l'écologie des parcours: implications pour la gestion des terres de parcours en Afrique, ODI/IIED Dossier, 33
- Berger T. (2001). Agent-based spatial models applied to agriculture: a simulation tool for technology diffusion, resource use changes and policy analysis. *Agricultural Economics* 25: 245–260.
- Berkes F., Feeny D., Mac Cay B.J., Acheson J.M. (1989). The Benefits of the Commons, Nature, London, 91-93, 340 p.
- Berkes F., Folke C. (Eds.) (1998). Linking social and ecological systems: management practices and social mechanisms for building resilience, Cambridge University Press, Cambridge.
- Berkes F., Colding J., Folke C. (2000). Rediscovery of traditional ecological knowledge as adaptive management, *Ecological Applications* 10 (5): 1251-1262
- Berkes F., Colding J., Folke C. (Eds.) (2003). Navigating social– ecological systems: building resilience for complexity and change, Cambridge University Press, Cambridge.
- Bernard C. (2012). L'économie institutionnelle, La Découverte
- Bernus E., Boutrais J. (1994). Crises et enjeux du pastoralisme africain, *Comptes Rendus de l'Académie d'Agriculture de France* 80 (8): 105-119
- Berry F.S. (1994). Sizing up State Policy Innovation research, *Policy Studies Journal* 22 (3): 42-56.
- Berry F.S., Berry W.D. (2007). Innovation and Diffusion Models in Policy Research In: *Sabatier P., ed., Theories of the Policy Process, Second Edition, Westview Press, 223-261*
- Bertrand A., Weber J. (1995). From state to local commons in Madagascar : a national policy for local management of renewable resources., ed. I.-T. v. o. t. commons. Bodo, Norway., 14 p.
- Billaudot B. (2008). Une théorie de l'Etat social, *Revue de la régulation*, n°2, Varia, [en ligne], URL : <http://regulation.revues.org>, <http://regulation.revues.org/document2523.html>
- Binswanger H.P., Deininger K., Feder G. (1993). Agricultural land relations in the developing world, *American Journal of Agricultural Economics* 75: 1242-1248
- Bonnefoy J.L., Le Page C., Rouchier J., Bousquet F. (2000). Modelling spatial practices and social representations of space using multi-agent systems, in: *Ballot, G., Weisbuch, G. (Eds.), Applications of simulation to social sciences, Hermes, pp. 155-168.*
- Bossel H. (2000). Policy assessment and simulation of actor orientation for sustainable development. *Ecological Economics* 35: 337–355.
- Boudet G. (1981). Agropastoralisme et notion de territoire dans les sociétés pastorales, pp. 48-50 in *Production pastorale et société, 8, Ec. Haut. Et. Sc. Soc., Paris*
- Bousquet F., Barreteau O., Mullon C., Weber J. (1996). Modélisation d'accompagnement : systèmes multi-agents et gestion des ressources renouvelables In : *Quel environnement au XXIème siècle ? Environnement, maîtrise du long terme et démocratie, Abbaye de Frontevraud.*
- Bousquet F., Barreteau O., d'Aquino P., Étienne M., Boissau S., Aubert S., Le page C., Babin D., and Castella J.-C. (2003). Multi-agent systems and roles games: collective learning processes for ecosystem management In: *M. A. Janssen, (ed), Complexity and ecosystem management: the theory and practice of multi-agent approaches, Edward Elgar, Cheltenham, UK, pp. 248-285*
- Boyer R. (1995). Aux origines de la théorie de la régulation, in Boyer R. et Saillard Y. (eds.), *Théorie de la régulation. L'état des savoirs*, Paris, La Découverte.

- Braun D., Gilardi F. (2006). Taking "Galton's problem" seriously. Towards a theory of policy diffusion, *Journal of Theoretical Politics* 18(3):298–322.
- Bromley D.W. (2008). Formalizing property relations in the developing world: The wrong prescription for the wrong malady, *Land Use Policy* 26:20–27
- Bruce J.W., Migot-Adholla S. (1994). Searching for land tenure security in Africa, World Bank, Washington, D.C.
- Brunel S. (2004). L'Afrique : un continent en réserve de développement, Bréal, 235p.
- Bruns B.R., Meinzen-Dick R.S. (Eds) (2000). Negotiating Water Rights, London, Intermediate Technologie Publications
- Cantono S. and Silverberg G. (2009). A percolation model of eco-innovation diffusion: The relationship between diffusion, learning economies and subsidies, *Technological Forecasting and Social change* 76 (4), pp. 487-496.
- Castella, J. C., Tran Ngoc Trung, and S. Boissau. (2005). Participatory simulation of land-use changes in the northern mountains of Vietnam: the combined use of an agent-based model, a role-playing game, and a geographic information system. *Ecology and Society* 10(1): 27.
- Castella, J.-C., Pheng Kam, S., Dinh Quang, D., Verburg, P.H., Thai Hoanh, C., (2007). Combining top-down and bottom-up modelling approaches of land use/cover change to support public policies: Application to sustainable management of natural resources in northern Vietnam. *Land Use Policy* 24, 531–545.
- Chasteland, J. Véron, J., Barbieri, M., (1993). Politiques de développement et croissance démographique rapide en Afrique, INED-CEPED, Paris
- Chauveau J.-P., (1994). Jeu foncier, institutions d'accès à la ressource et usage de la ressource, Communication au colloque GIDIS-CI, Abidjan
- Chauveau J.-P. (1998). Quelle place donner aux pratiques des acteurs? In : Lavigne Delville Ph. (éd.), *Quelles politiques foncières pour l'Afrique rurale ?*, Paris, Karthala-Coopération Française, pp. 36-40
- Chauveau J.-P., Le Pape M., Olivier de Sardan J.-P. (2001). La pluralité des normes et leurs dynamiques en Afrique : implications pour les politiques publiques In : Winter G. (ed.) *Inégalités et politiques publiques en Afrique : pluralité des normes et jeux d'acteurs*, Paris : IRD, Karthala, pp. 145-162
- Chauveau J.P., (2003). Les plans fonciers ruraux, conditions de pertinence des systèmes d'identification et d'enregistrement des droits In : Lavigne Delville Ph., Ouédraogo H., Toulmin C. et Le Meur P.Y. (coord.), *Pour une sécurisation foncière des producteurs ruraux, Actes du séminaire international d'échanges entre chercheurs et développeurs. GRAF/GRET/IIED*, pp. 35-48
- Chauveau J.P., Lavigne Delville P., (2004). Politiques foncières intermédiaires en Afrique de l'Ouest francophone, In : Lévy M. (dir.), *Comment réduire pauvreté et inégalités et pauvreté. Pour une Méthodologie des politiques publiques*, IRD/Karthala, pp. 211-239
- Chauveau J.P., Colin J-Ph., Jacob J.P., Lavigne Delville P., Le Meur P.Y., (2006). Modes d'accès à la terre, marchés fonciers, gouvernance et politiques foncières en Afrique de l'Ouest, Résultats du projet de recherche CLAIMS, 91p.
- Chauveau J.P., (2006). How does an institution evolve? Land, politics, intergenerational relations and the institution of the tutorat between autochthons and migrant farmers in the Gban region (Côte d'Ivoire), in R. Kuba & C. Lentz (eds) *Landrights and the politics of belonging in West Africa*, Brill Academic Publishers, African Social Studies Series, Leiden, pp.213-240
- Chauveau J.P., (2013). Les leçons de l'histoire. Les politiques de formalisation des droits "coutumiers" en Afrique subsaharienne depuis la période colonial, Journées d'études "Formalisation des droits et des obligations", Nogent-sur-Marne, Comité technique "Foncier et développement", 18p.
- Cleaver F. (2002). Reinventing institutions: Bricolage and the social embeddedness of natural resources management, *The European Journal of development research* 14(2):11-30

- Colin J.-Ph., (2004). Droits fonciers, pratiques foncières et relations intra-familiales : les bases conceptuelles et méthodologiques d'une approche compréhensive, *Land Reform, Land Settlement and Cooperatives*, 55-67
- Colin J.P., Le Meur P.Y., Leonard E., (2010), La politique des programmes de formalisation des droits fonciers, In : Colin J.P., Le Meur P.Y., Leonard E. (eds.), *Les politiques d'enregistrement des droits fonciers. Du cadre légal aux pratiques locales*, Paris, Karthala, pp. 5-67
- Colin J.-P. (2013). Securing rural land transactions in Africa. An Ivorian perspective, *Land Use Policy* 31 : 430-440
- Collectif ComMod (2005). La modélisation comme outil d'accompagnement. *Natures Sciences Sociétés* 13 : 165-168
- Comby J. (1995). Comment fabriquer la propriété ? *Etudes foncières* n°66
- Comby J., Gerber C., (2007). Sécuriser la propriété foncière sans cadastre, Papier présenté au Symposium de la Banque Mondiale Urban Land Use and Land Markets, Washington DC
- Comité technique « Foncier et développement », (2015). La formalisation des droits sur la terre dans les pays du Sud : dépasser les controverses et alimenter les stratégies, Paris, Ministère des Affaires étrangères et du Développement international (Maedi), Agence française de développement (AFD), 86p.
- Commons J.R., (1931). Institutional Economics, *American Economic Review* 21: 648-657.
- Cotula, L., Hed, C., Sylla, O., Thébaud, B., Vogt, G. et Vogt, K. (2006). Land and water rights in the Sahel. Tenure challenges of improving access to water for agriculture, FAO, LSP WP 25, Access to Natural Resources Sub-Programme
- Cotula L. (ed.) (2007). Changes in "Customary" Land Tenure Systems in Africa, IIED/FAO, London, Roma, 137p.
- Coussy J., (2001). Greffes de normes étrangères et pénétration de l'économie globale dans les sociétés africaines, in : Winter G. (ed.), *Inégalités et politiques publiques en Afrique. Pluralité des normes et jeux d'acteurs*, Paris, Karthala, pp. 279-300
- d'Aquino P. (1998). Le traitement et la gestion de l'information foncière, In : Lavigne Delville Ph. (ed.), *Quelles politiques foncières pour l'Afrique rurale ? Réconcilier pratiques, légitimité et légalité*, Paris, Karthala, Coopération Française, pp. 479-488
- d'Aquino, P., S. M. Seck, S. Camara, (2002a). Un SIG conçu par les acteurs: l'opération P.O.A.S. au Sénégal, *L'Espace Géographique* 1: 23-37
- d'Aquino P., (2002b). Le pouvoir plutôt que la participation. Les principes d'une nouvelle approche de la planification territoriale décentralisée, *Géographie Economie Société* 4(1) : 57-68
- d'Aquino, P., S. M. Seck, S. Camara, (2002c). L'acteur avant l'expert : vers des systèmes d'information territoriaux endogènes. Une expérience au Sénégal, *Natures Sciences Sociétés* 10 (4) : 20-30
- d'Aquino P., Le Page C., Bousquet F., Bah A. (2003). Using self-designed role-playing games and a multi-agent system to empower a local decision-making process for land use management : the SelfCormas experiment in Senegal, *Journal of Artificial Societies and Social Simulation* 6 (3) : <http://jasss.soc.surrey.ac.uk/6/3/5.html>.
- d'Aquino P., Bah A. (2013a). A Participatory Modeling Process to Capture Indigenous Ways of Adaptability to Uncertainty: Outputs From an Experiment in West African Drylands, *Ecology and Society* 18 (4): 16, <http://dx.doi.org/10.5751/ES-05876-180416>
- d'Aquino P., Bah A., (2013b). Land policies for climate change adaptation in West Africa: A multilevel companion modeling approach, *Simulation and Gaming* 44 (2-3): 391-408
- d'Aquino P., Bah A. (2014). Multi-level participatory design of land use policies in African drylands, *Journal of Environmental Management* 132: 207-219
- Daré W., Barreteau O. (2003). A role-playing game in irrigated system negotiation: between play and reality. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation* 6(3): <http://jasss.soc.surrey.ac.uk/6/3/6.html>.
- Daré W. (2005). Comportements des acteurs dans le jeu et dans la réalité, indépendance ou correspondance? Analyse sociologique de l'utilisation de jeux de rôles en aide à la

- concertation, thèse de doctorat, sociologie, Ecole nationale du Génie rural des eaux et forêts, 402 p.
- de Alessi L., (1983). Property Rights and Transaction Costs: A New Perspective in Economic Theory, *Social Science Journal* 20(3):59-70
- Deffuant G, Huet S, Bousset JP, Henriot J, Amon G, Weisbuch G (2002). Agent based simulation of organic farming conversion in Allier département *In: Janssen MA (ed) Complexity and ecosystem management: the theory and practice of multi-agent systems, Edward Elgard Publishing, Arnold*, pp 158–189
- Deininger K., (2003). Land Policies for Growth and Poverty Reduction, World Bank policy research report
- Delre S.A., Jager W., Bijmolt T.H.A., Janssen M.A., (2007). Targeting and timing promotional activities: An agent-based model for the takeoff of new products, *Journal of Business Research* 60: 826–835
- Delre SA, JagerW, Bijmolt THA, JanssenMA (2010). Will it spread or not? The effects of social influences and network topology on innovation diffusion, *Journal of Product Innovation Management* 27(2):267–282
- Demsetz, H., (1967). Toward a Theory of Property Rights, *American Economic Review* (57): 347-59
- de Soto H., (2005). Le mystère du capital : pourquoi le capitalisme triomphe en Occident et échoue partout ailleurs, Flammarion
- Djiré M., (2005). Immatriculation et appropriation de la terre – Les avatars d’une procédure nécessaire ? Etudes de cas dans la Commune Rurale de Sanankoroba, cercle de Kati, Rapport de recherche CLAIMS, Bamako
- Dolowitz, D., Marsh, D. (1996). Who learns from whom: a review of the policy transfer literature, *Political Studies* XLIV: 343-357.
- Ducrot R., Botta A., D'Aquino P., Antona M., Abrami G., Farolfi S., Müller J.P., Lagabrielle E., Le Page C., (2010). Changement d'échelle et niveaux d'organisation multiples *In : La modélisation d'accompagnement : une démarche participative en appui au développement durable, Versailles : Ed. Quae*, pp. 251-275
- Dulong D. (2012). Sociologie des institutions politiques, Paris, La Découverte
- Elkink, Jos. (2009). An attitude diffusion model of the international clustering of political regimes, PhD thesis, Department of Political Science, Trinity College Dublin, 398p.
- Elkins Z. Simmons B., (2005). On Waves, Clusters, and Diffusion: A Conceptual Framework, *The Annals of the American Academy of Political and Social Sciences* 598(1):33–51.
- Ellis J.E., Swift D.M., (1988). Stability of African pastoral ecosystems: alternate paradigms and implications for development, *Journal of Range Management* 41: 450-459
- Epstein J.M., Axtell R., (1996). Growing artificial societies: social science from the bottom up. Complex adaptive systems, Washington, D.C.; Cambridge, Mass.; London: Brookings Institution Press: MIT Press.
- Epstein, Joshua M. (2008). Why Model? *Journal of Artificial Societies and Social Simulation* 11(4)12: <http://jasss.soc.surrey.ac.uk/11/4/12.html>
- Etienne M. (ed.) (2010). La modélisation d'accompagnement: une démarche participative en appui au développement durable, Versailles, Ed. Quae
- Filatova T., Verburg P.H., Parker D.C., Stannard C.A. (2013). Spatial agent-based models for socio-ecological systems: Challenges and prospects, *Environmental Modelling & Software* 45: 1-7
- Fitzpatrick D., (2005). 'Best Practice' Options for the Legal recognition of Customary Tenure, *Development and Change* 36(3): 449-475
- Freeman R., Tester S. (1996). Social Policy Diffusion, paper presented to the Conference on Policy Transfer, University of Birmingham
- Freudenberger, M.S., (1992). Land Tenure, Local Institutions and Natural Resources in Senegal, Land Tenure Center, University of Wisconsin, Madison
- Gallais J., (Ed. sc.) (1977). Stratégies pastorales et agricoles des sahéliens durant la sécheresse de 1969-74, CEGET-CNRS, Talence, 217 p

- Gallopín, G.C., Gutman, P., Maletta, H., (1989). Global impoverishment, sustainable development and the environment: a conceptual approach. *International Social Science Journal* 121 : 375–397
- Gastaldi J., (1998). Les plans fonciers ruraux en Côte-d'Ivoire, au Bénin et en Guinée, In Ph. Lavigne Delville (éd.), *Quelles politiques foncières pour l'Afrique rurale? Réconcilier pratiques, légitimité et légalité*, Paris, Karthala-Coopération française, pp. 461-474
- Gilbert, N. (2000). The simulation of social processes. In N. Ferrand (Ed.), *Modèles et Systèmes Multi-Agents pour la Gestion de l'Environnement et des Territoires*, Clermont-Ferrand, France: Cemagref, pp. 121-137
- Goldenberg J, Efroni S (2001). Using cellular automata modeling of the emergence of innovations, *Technological Forecasting & Social Change* 68(3):293–308
- Golan E.H. (1994). Land Tenure Reform in the Peanut Basin of Senegal In: Searching for land tenure security in Africa, World Bank, Washington, D.C., pp. 241-260
- Gourmelon F., Chlous-Ducharme F., Kerbiriou C., Rouan M., Bioret F., (2013). Role-playing game developed from a modelling process: A relevant participatory tool for sustainable development? A co-construction experiment in an insular biosphere reserve, *Land Use Policy* (32): 96– 107
- Granovetter M., (1978). Threshold models of collective behavior, *American Journal of Sociology* 83: 1420-1443.
- Gray V., (1994). Competition, Emulation and Policy Innovation In: Lawrence Dodd and Calvin Jillson, eds., *New Perspectives in American Politics*. Washington DC: Congressional Quarterly Press.
- Gregory D., Urry J.(Eds.) (1990). Social Relations and Spatial Structures, Macmillan, London, pp. 90– 127
- Griffiths, J. (1986). What is Legal pluralism? *Journal of Legal Pluralism and Unofficial Law* (24): 1-55
- Grimm V. (1999). Ten years of individual-based modelling in ecology: what have we learned and what could we learn in the future? *Ecological Modelling* 115 (2-3): 129-148.
- Grimm, V., Berger, U., Bastiansen, F., Eliassen, S., Ginot, V., Giske, J., Goss-Custard J., Grand, T., Heinz, S.K., Huse, G. (2006). A standard protocol for describing individual-based and agent-based models. *Ecological Modelling* 198: 115–126.
- Grimm, V., Berger, U., DeAngelis, D.L., Polhill, J.G., Giske, J., Railsback, S.F. (2010). The ODD protocol: a review and first update. *Ecological Modelling* 221: 2760–2768.
- Hägerstrand T (1967). Innovation diffusion as a spatial process, University of Chicago Press, Chicago
- Hardin G., (1968). The Tragedy of the Commons, *Science* 162: 1243-1248
- Hall D. (2012). Titling and Conservation In: Land, Polity Press, 112-139, 176, PRS-Polity Resources series
- Heckbert S., Baynes T., Reeson A., (2010). Agent-based modeling in ecological economics, *Annals of the New York Academy of Sciences* 1185: 39–53
- Heltberg R., (2002). Property Rights and Natural Resource Management in Developing Countries, *Journal of Economic Surveys* 16(2): 189-214
- Hesse, C., Anderson, S., Cotula, L., Skinner, J. and Toulmin, C. (2013). Managing the Boom and Bust: Supporting Climate Resilient Livelihoods in the Sahel. IIED Issue Paper. IIED, Londres
- Hodgson, S. (2004). Land and water – the rights interface, Livelihood Support Programme. Rome, FAO
- Jacob J.-P., (2002). La tradition du pluralisme institutionnel dans les conflits fonciers entre autochtones. Le cas du Gwendégoué (Centre-Ouest du Burkina Faso), Document de travail de l'UR REFO n°3, IRD
- Jacob J.-P., (2007). Terres privées, terres communes. Gouvernement de la nature et des hommes en pays winye, Burkina Faso, Paris: IRD éditions, 286p.
- Jager W, Janssen MA, Vries HJMD, Greef JD, Vlek CAJ (2000). Behaviour in commons dilemmas: Homo economicus and Homo psychologicus in an ecological-economic model, *Ecological Economics* 35(3):357–379
- Janssen, M.A., de Vries, H.J.M. (1998) The Battle of Perspectives: a multi-agent model with adaptive responses to climate change. *Ecological Economics* 26: 43-65.

- Janssen, M.A., Walker, B.H., Landgride, J., Abel, N. (2000). An adaptive agent model for analysing co-evolution of management and policies in a complex rangeland system, *Ecological Modelling* 131: 249–268.
- Janssen, M.A., (Ed), (2003). Complexity and ecosystem management: the theory and practice of multi-agent approaches, Edward Elgar, Cheltenham, UK
- Janssen, M.A. (2005). Agent-based modeling In Modeling in Ecological Economics, Safonov, Ed. Edward Elgar Publishing, Cheltenham, UK. 155–172.
- Janssen M.A., Ostrom E. (2006). Empirically based, agent-based models, *Ecology and Society* 11(2):37, [online] URL: <http://www.ecologyandsociety.org/vol11/iss2/art37/>
- Kabou A., (1991). Et si l’Afrique refusait le développement ?, L’Harmattan, 208p.
- Kiesling E., Günther M., Stummer C., Wakolbinger L., (2012). Agent-based simulation of innovation diffusion: a review, *Central European Journal of Operations Research* 20:183–230
- Lavigne Delville Ph., (1998). Sécurité foncière et intensification, in : *Lavigne Delville Ph. (dir.), Quelles politiques foncières en Afrique noire rurale ? Réconcilier pratiques, légitimité et légalité, Paris, Ministère de la Coopération, Karthala*, p. 264-292
- Lavigne Delville P., Chauveau J.P., Gastaldi J., Kasser M., Le Roy E. (1998). Quelles politiques foncières pour l’Afrique rurale ? Réconcilier pratiques, légitimité et légalité, Paris, Karthala
- Lavigne Delville, Ph., (2001). Quelle gouvernance pour les ressources renouvelables ? La gestion des ressources renouvelables dans le contexte de la décentralisation en Afrique de l’Ouest, Étude de l’AFD, Paris, GRET
- Lavigne Delville P., Toulmin C., Colin J-Ph., Chauveau J.P, (2002). Negotiating access to land in West Africa : a synthesis of finding from research on derived rights to land, International Institute for Environment and Development, London, 136p.
- Lavigne Delville P., Hochet P., (2005). Construire une gestion négociée et durable des ressources naturelles renouvelables en Afrique de l’Ouest, GRET, Rapport final du projet de recherche INCO-CLAIMS (financement AFD-UE), 184p.
- Lavigne Delville, (2006a). Conditions pour une gestion décentralisée des ressources naturelles in Bertrand A., Karsenty A. et Montagne R. (eds), L’Etat et la gestion locale durable des forêts en Afrique francophone et à Madagascar, L’Harmattan
- Lavigne Delville P., (2006b). Reconnaître les droits coutumiers : propriété coutumière ou faisceaux de droits ? Cadres cognitifs, conception des droits et faisabilité politique de l’enregistrement des droits fonciers locaux en Afrique de l’ouest, Colloque international “Les frontières de la question foncière”, Montpellier
- Lavigne Delville Ph. (2007). Changes in “Customary” Land Management Institutions: Evidence from West Africa, in *Cotula L. ed., Changes in “Customary” Land Tenure Systems in Africa, IIED/FAO*, pp. 35-50.
- Lavigne Delville P., (2010). Sécurisation foncière, formalisation des droits, institutions de régulation foncière et investissements. Pour un cadre conceptuel élargi, *Revue des questions foncières*, 30p.
- Le Bris E., Le Roy E., Mathieu P., (1991). L’appropriation de la terre en Afrique noire ; Manuel d’analyse, de décision et de gestion foncières, Paris, Karthala
- Le Roy E. (1991). Les formes de l’informel et l’échec au (d)roi(t), in *Marchand C. (éd.), « De l’aide au contrat, pour un développement équitable », Paris, Syros Alternative*, 143-154.
- Le Roy E., (1995a). Les solutions foncières des sociétés pastorales africaines et le droit moderne, in *Pastoralisme : espaces, troupeaux et sociétés, Paris, Hatier*
- Le Roy E., (1995b). La sécurité foncière dans un contexte africain de marchandisation imparfaite de la terre, in *Terre, terroir, territoire. Ed. Sc. C. Blanc-Pamard et L. Cambresy, ORSTOM, Paris*, pp. 455-470
- Le Roy E., Karsenty A. et Bertrand A. (1996). La sécurisation foncière en Afrique: pour une gestion viable des ressources renouvelables, Paris, Karthala, 388p.
- Le Roy, E. (1999) Le jeu des lois – Une anthropologie « dynamique » de Droit Paris, Librairie générale de droit et de jurisprudence

- Le Roy E., (2002). De la propriété aux maîtrises foncières. Contribution d'une anthropologie du Droit à la définition de normes d'appropriation de la nature dans un contexte de biodiversité, donc de prise en compte du pluralisme et de la complexité, in : *Frank-Dominique Vivien, (ed.) Biodiversité et appropriation, les droits de propriété en question, Paris, NSS-Elsevier, 139-162.*
- Le Roy, E., (2003). Actualité des droits dits 'coutumiers' dans les pratiques et les politiques foncières en Afrique et dans l'océan Indien, *Cahiers d'Anthropologie du Droit, Retour au foncier. LAJP/Karthala*
- Le Roy E., (2009). Autonomie du droit, hétéronomie de la juridicité, Communication au congrès Le nuove ambizioni del sapere del giurista: antropologia giuridica e traduttologia giuridica, Rome, Accademia Nazionale dei Lincei, Atti dei convegni Lincei 253, p.99-133
- Le Roy E., (2011). La terre de l'autre : une anthropologie des régimes d'appropriation foncière, Paris, Lextenso, 448p.
- Le Roy E., (2013). Du droit positif monologique au pluralisme juridique et normatif. Itinéraires d'une recherche dont le véritable objet est la juridicité, *LAJP Paris 1*, 11p.
- Lund C., (2001). Les réformes foncières dans un contexte de pluralisme juridique et institutionnel : Burkina Faso et Niger, in : *Winter G. (ed.), Inégalités et politiques publiques en Afrique. Pluralité des normes et jeux d'acteurs, Paris, Karthala, pp. 195-207*
- Luyet S. (2011). Policy Diffusion: An Agent-Based Approach, thèse de doctorat, sciences politiques, University of Lausanne, 287p.
- Maienhofer D., Finholt T., (2002). Finding Optimal Targets for Change Agents: A Computer Simulation of Innovation Diffusion, *Computational & Mathematical Organization Theory* 8: 259-280.
- Marsh D., Sharman J.C. (2009) Policy diffusion and policy transfer, *Policy Studies* 30(3): 269-288
- Mathevet R., Bousquet F., Le Page C., Antona M. (2003). Agent-based simulations of interactions between duck population, farming decisions and leasing of hunting rights in the Camargue (Southern France), *Ecological Modelling* 165: 107–126
- Mathieu P., (1995). Le foncier et la gestion des ressources naturelles, in *Mathieu P. et Laurent P.J., Actions locales, enjeux fonciers et gestion de l'environnement au Sahel, Cahiers du CIDEP n°27, pp. 46-59*
- Mathieu P. (1996). Pratiques informelles, gestion de la confusion et invention du foncier en Afrique, in *de Villers G. (éd.), Phénomènes informels et dynamiques culturelles en Afrique, Cahiers Africains, Ceadaf L'Harmattan, 64-87*
- Mathieu P., Lavigne Delville Ph. et al., (2003). Sécuriser les transactions foncières dans l'Ouest du Burkina Faso, Dossier no 117, Drylands programm, IIED/Gret/IED/UERD, 36 p.
- Matthews R.B. et al. (2007). Agent-based land-use models: a review of applications. *Landscape Ecology* 22: 1447-1459.
- McNeill D., Bursztyn M., Novira N., Purushothaman S., Verburg R., Rodrigues-Filho S. (2014). Taking account of governance: The challenge for land-use planning models, *Land Use Policy* 37: 6–13
- Mehta L., Leach M., Newell P., Scoones I., Sivaramakrishnan K., Way S-A. (1999). Exploring Understandings of Institutions and Uncertainty: New Direction in Natural Resource Management, IDS Discussion Paper 372, University of Sussex, UK: Institute of Development Studies, 48 p.
- Meinzen-Dick, R.S. & Pradhan, R. (2002). Legal Pluralism and Dynamic Property Rights, CAPRI working papers n°22, Washington D.C., IFPRI, pp. 1-16
- Merlet M., Groppo P., (2011). Points chauds liés au foncier et aux droits sur l'eau, SOLAW Background Thematic Report – TR05, FAO, 34p.
- Mermet, L. (1993). Une méthode de prospective: les exercices de simulation politique. *Natures, Sciences et Sociétés* 1(1): 34-46
- Meseguer C. (2006). Rational Learning and Bounded Learning in the Diffusion of Policy Innovations, *Rationality and Society* 18(1):35–66.

- Meseguer, C., Gilardi, F. (2009). What is new in the study of policy diffusion? *Review of International Political Economy* 16(3): 527-543.
- Meyfroidt, P. (2012). Environmental cognitions, land change, and social-ecological feedbacks: an overview. *Journal of Land Use Science*, 1-27
- Miller, J. H., Page S. E. (2007). *Complex Adaptive Systems: An Introduction to Computational Models of Social Life*, Princeton University Press
- Milleville P., (1992). Conditions sahéliennes et déplacements des troupeaux bovins (Oudalan, Burkina Faso) in « *L'aridité, une contrainte au développement* », Ed. Sc. E. Le Floc'h, M. Grouzis, A. Cornet, J.C. Bille, ORSTOM, Paris, pp. 539-554
- Morin E. (1977). *La Nature de la nature* (t. 1), *La Méthode* (6 volumes), Seuil, Paris
- Mwangi E., Dohrn S., (2008). Securing access to drylands resources for multiple users in Africa: A review of recent research, *Land Use Policy* 25: 240-248
- Olivier de Sardan J.-P., (2003). Etat, bureaucratie et gouvernance en Afrique de l'Ouest francophone. Un diagnostic empirique, une perspective historique, Communication pour le colloque du CODESRIA à Dakar, décembre 2003, 21p.
- Olivier de Sardan J.-P., (2007). A la recherche des normes pratiques régulant les bureaucraties africaines », *Laboratoire d'études et recherches sur les dynamiques sociales et le développement local (LASDEL)*, Niamey, 26p.
- Ostrom E. (1990). *Governing the commons*, Cambridge, Cambridge University Press, 220p.
- Ostrom E., Gardner R., Walker J. (1994). *Rules, Games & Common-Pool Resources*, University of Michigan Press, Michigan, Etats-Unis.
- Ostrom E., (2005). Understanding the Diversity of Structured Human Interactions, In: *Ostrom E., Understanding Institutional Diversity*, Princeton University Press, pp.4-14
- Ostrom E., (2010). Beyond markets and states: polycentric governance of complex economic systems, *American Economic Review* 100: 641–672.
- Ouedraogo H., (2010). Mythes, impasses de l'immatriculation foncière et nécessité d'approches alternatives, Fiche pédagogique pour le Comité technique Foncier et Développement
- Papazian H., (2013). Réseaux sociaux et problématique foncière en zone rurale sénégalaise, Editions Universitaires Européennes, 124p.
- Parker, D.C., Manson, S.M., Janssen, M.A., Hoffmann, M.J., and Deadman, P. (2003). Multi-agent systems for the simulation of land-use and land-cover change: a review, *Annals of the Association of American Geographers* 93 (2):314-337
- Piveteau, V. (1995). *Prospective et territoire: apports d'une réflexion sur le jeu*. Cemagref, Clermont-Ferrand, 298 p.
- Platteau J-Ph. (1996). The evolutionary theory of land right as applied to Sub-Saharan Africa: a critical Assessment, *Development and Change* 27 (1): 29-86
- Platteau J-Ph. (2003). Droits de propriété et gestion efficace des ressources naturelles, les séminaires de l'Iddri, n°10, 39 p
- Polhill JG, Gotts NM, Law ANR (2001). Imitative versus non-imitative strategies in a land use simulation, *Cybernetics & Systems* 32(1–2):285–307
- Pradhan R., von Benda-Beckmann K., von Benda-Beckmann F. (Eds) (2000). *Water Land and Law: Changing Rights to Land and Water in Nepal*, FREEDAL, WAU, EUR, Kathmandu, Wageningen and Rotterdam, the Netherland
- Railsback, S.F., Lytinen, S.L., Jackson, S.K. (2006). Agent-based simulation platforms: review and development recommendations, *Simulation* 82 (9): 609–623.
- Rammel C., Stagl S., Wilfing H. (2007). Managing complex adaptive systems — A co-evolutionary perspective on natural resource management, *Ecological Economics* 63: 9-21
- Ribot J., Peluso N. (2003). A Theory of Access, *Rural Sociology* 68 (2): 153-181
- Robinson D.T., Brown D.G., Parker D.C., Schreinemachers P., Janssen M.A., Huigen M., Wittmer H., Grotts N., Promburom P., Irwin E., Berger T., Gatzweiler F., Barnaud C. (2007). Comparison of Empirical Methods for Building Agent-Based Models in Land Use Science, *Journal of Land Use Science* 2(1):31–55.

- Rochegude A., (1998). Les instances décentralisées et la gestion des ressources renouvelables, *In Ph. Lavigne Delville (éd.), Quelles politiques foncières pour l'Afrique rurale? Réconcilier pratiques, légitimité et légalité, Paris, Karthala-Coopération française*, pp.403-421
- Rogers E.M. (1995). *Diffusion of Innovations*, 4th ed., Free Press, NewYork.
- Rogers E.M. (2003). *Diffusion of Innovations*, 5th ed., Free Press, NewYork.
- Rosenkopf L., Abrahamson E. (1999). Modeling Reputational and Informational Influences in Threshold Models of Bandwagon Innovation Diffusion, *Computational and Mathematical Organization Theory* 5(4):361–384.
- Rouchier J. (2000). La confiance à travers l'échange : accès aux pâturages au Nord-Cameroun et échanges non-marchands : des simulations dans des systèmes multi-agents, thèse de doctorat, informatique, Université d'Orléans, 381 p.
- Rouchier J., Bousquet F., Requier-Desjardins M., Antona M., (2001). A multi-agent model for describing transhumance in North Cameroon : Comparison of different rationality to develop a routine, *Journal of Economic Dynamics and Control* 25: 527-559
- Sabatier, Paul A. (1987). Knowledge, Policy-Oriented Learning, and Policy Change, *Knowledge: Creation, Diffusion, Utilization* 8 (4):649–692.
- Sabatier P., (2007). The Need for Better Theories *In Paul Sabatier, ed., Theories of the Policy Process, Second Edition, Westview Press*, pp. 3-21
- Schelling T.C. (1971). Dynamic models of segregation, *The Journal of Mathematical Sociology* 1 (2): 143-186
- Schlager E., Ostrom E., (1992). Property Rights Regimes and Natural Resources: A Conceptual Analysis, *Land Economics* 68(3):249-262.
- Schwarz N., Ernst A. (2009). Agent-based modeling of the diffusion of environmental innovations — An empirical approach, *Technological Forecasting & Social Change* 76: 497–511
- Shipan C., Volden C. (2008). The mechanisms of policy diffusion, *American Journal of Political Science* 52(4): 840-857.
- Simmel, G., (1997)[1903]. The sociology of space *In: Featherstone, M., Frisby, D. (Eds.), Simmel on Culture, Sage, London*, pp.170-174
- Simon H. A. (1997). *Models of Bounded Rationality: Empirically Grounded Economic Reason*. Cambridge: MIT Press.
- Smith, R. (1981). Resolving the Tragedy of the Commons by Creating Private Property Rights in Wildlife, *CATO Journal*, (1), pp.439-468.
- Stevenson, G.G. (1991). *Common Property Theory, a General theory and Land Use Applications*, Cambridge University Press, 256 p.
- Stone D., (2001). Learning Lessons, Policy Transfer and the International Diffusion of Policy Ideas, Working Paper No. 69/01, Center for the Study of Globalization and Regionalization, University of Warwick
- Strang D., Soule S.A. (1998). Diffusion in organisations and social movements: From Hybrid Corn to Poison Pills, *Annual Review of Sociology* 24: 265-290.
- Thebaud B., (1990). Politiques d'hydraulique pastorale et gestion de l'espace au Sahel, pp. 13-31 in *Cah. Sci. Hum.* 26, 1-2, ORSTOM, Paris
- Thebaud, B., (1995). Le foncier dans le Sahel Pastoral. Situations and Perspectives, Documentation IRD, 38-56
- Toulmin C., Quan J., (2000). Evolving land rights, policy and tenure in Africa », Department for International Development – DFID, IIED, Natural Resources Institute, Londres, 2000
- Toulmin C., (2008). Securing land and property rights in sub-Saharan Africa: The role of local institutions, *Land Use Policy* 26: 10-19
- Turner M.D., Ayantunde A., Patterson K.P., Patterson D.E., (2011). Livelihood transitions and the changing nature of farmer-herder conflict in Sahelian West Africa, *Journal of development studies* 47(2):183-206
- Valente T., Rogers E.M. (1995). The origins and development of the diffusion of innovations paradigm as an example of scientific growth, *Science Communication* 16(3):242–273

- Valente T., (1996). Social network thresholds in the diffusion of innovations, *Social Networks* 18 (1): 69–89
- Veblen T. (1898). Why is Economics Not an Evolutionary Science, *The Quarterly Journal of Economics*, Vol. 12
- Verburg, P.H., Veldkamp, A. (2005). Editorial: spatial modeling to explore land use dynamics, *International Journal of Geographical Information Science* 19: 99–102.
- Verburg, P.H. (2006). Simulating feedbacks in land use and land cover change models, *Landscape Ecology* 21 (8): 1171-1183.
- von Benda-Beckmann K. (1981). Forum shopping and Shopping Forums: Dispute Processing in a Minangkabau Village in West Sumatra, *Journal of Legal Pluralism* 19:117-59
- von Benda-Beckmann F., von Benda-Beckmann K., (1999). A functional Analysis of Property Rights, with Special Reference to Indonesia, In *Van Meijl T., Van Meijl F. et von Benda-Beckmann F., (eds), Property Rights and Economic Development, Land and Natural Resources in South-East Asia and Oceania, Londres, Kegan Paul*, p. 15-56
- Wade, R., (1987). The Management of Common Property Resources: Collective Action as an Alternative to Privatisation or State Regulation, *Cambridge Journal of Economics* 11: 95-106
- Wandersee S.M., An L., Lopez-Carr D., Yang Y. (2012). Perception and decisions in modeling coupled human and natural systems: A case study from Fanjingshan National Nature Reserve, China, *Ecological Modelling* 229: 37-49
- Weber J., Reveret J.P., (1993). Biens communs : les leurreurs de la privatisation, pp. 71-73, *Le Monde Diplomatique*, Coll. savoirs, 2, Ed. Le Monde, Paris (FRA)
- Weber J., (1995). Gestion des ressources renouvelables : fondements théoriques d'un programme de recherche. Paris, Cirad Green, 21 p.
- Weber J. (1998). Ressources renouvelables et systèmes fonciers, in *Lavigne Delville Ph. (éd.), Quelles politiques foncières pour l'Afrique rurale ?*, Paris, Karthala-Coopération Française, pp. 20-22
- Weyland K., (2007). The Puzzle of Policy Diffusion In: *Weyland K., Bounded Rationality and Policy Diffusion*, Princeton University Press, pp.1-29
- Winter G. (ed.), (2001). Inégalités et politiques publiques en Afrique. Pluralité des normes et jeux d'acteurs, Paris, Karthala
- Winter M., (1998). La mobilité dans l'exploitation des ressources naturelles, un défi pour les régimes d'accès à la terre et aux ressources In *Ph. Lavigne Delville (éd.) Quelles politiques foncières pour l'Afrique rurale? Réconcilier pratiques, légitimité et légalité*, Paris, Karthala-Coopération française, pp.114-118

Liste des figures

| | |
|--|-----|
| Figure 1: Organisation et produit du travail de recherche..... | 24 |
| Figure 2: Plateforme expérimentale du jeu de rôles..... | 46 |
| Figure 3: Calibrage de l'introduction (tour 3, 10% d'occupation) de la pression sur l'espace et les ressources..... | 47 |
| Figure 4: Synthèse des résultats de l'atelier de Sinthiou Bamambé | 50 |
| Figure 5: Synthèse des résultats de l'atelier de Guia | 52 |
| Figure 6: Conceptual model of the entities' interactions..... | 63 |
| Figure 7: UML class diagram of the agent-based model..... | 63 |
| Figure 8: Activity diagram of the land regulator agents..... | 67 |
| Figure 9: Activity diagram of the user agents during the rainy season..... | 69 |
| Figure 10: Spatial settings of a simulation..... | 70 |
| Figure 11: Sequence diagram of the rainy season step. | 71 |
| Figure 12: New land regulation source introduction patterns..... | 74 |
| Figure 13: Practical application pattern of randomly introduced new land regulation sources in the pluralist default situation.. | 76 |
| Figure 14: Practical application pattern of contiguously localized introductions of new land regulation sources in the pluralist default situation..... | 76 |
| Figure 15: Practical application pattern of randomly introduced new land regulation sources according to homogeneously fixed patterns of user agents' perceptions..... | 80 |
| Figure 16: Practical application pattern of contiguously localized distributions of new land regulation sources according to the homogeneously fixed patterns of user agents' perceptions | 80 |
| Figure 17: Conceptual model of the entities' interactions..... | 91 |
| Figure 18: UML class diagram of the agent-based model describing its entities and their relationships | 91 |
| Figure 19: Spatial settings of a simulation..... | 93 |
| Figure 20: Sequence diagram of the rainy season step.. | 94 |
| Figure 21: Consistency tests on the fixation of regulator land management rationale..... | 95 |
| Figure 22: Possible spatial distributions of a new land policy introduction pattern..... | 97 |
| Figure 23: Detection of a new land tenure policy perception threshold for an initial random distribution in a pluralist land regulation..... | 99 |
| Figure 24: Integration patterns of a new land regulation source according to the characteristics of its introduction pattern (left column) and the impact on the initial traditional land chief regulation (right column)..... | 100 |
| Figure 25: Detection of a new land tenure policy perception threshold for an initial contiguously-localized distribution in a pluralist land regulation..... | 101 |

Liste des tables

| | |
|---|----|
| Tableau 1: Succession des scénarios de jeu (SS = saison sèche / SP = saison des pluies)..... | 48 |
| Table 2: Synopsis of the regulator's different choices of rationale | 66 |
| Table 3: Components of a resource access right according to the regulator agent land management objective | 67 |
| Table 4: Calibration of the initialization for our set of simulation scenarios | 70 |
| Table 5: Synopsis of the different choices of land regulators rationales. | 92 |
| Table 6: Calibration of the initialization for our set of simulation scenarios | 94 |
| Table 7: Overview of our set of simulation scenarios | 97 |

Liste des sigles et acronymes

| | |
|---------------|---|
| ABMs | Agent-Based Models / Systèmes multi-agents |
| Aff | Affectation foncière |
| CIRAD | Centre de coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement |
| COMMOD | Companion Modelling / Modélisation d'accompagnement |
| CORMAS | Common Resources Management Agent-based System |
| GREEN | Gestion des Ressources renouvelables et Environnement |
| Ha | Hectares |
| NTFP | Non Timber Forest Product / Produits Forestiers Non Ligneux |
| SES | Système Socio-Ecologique |
| TF | Titre Foncier |
| UML | Unified Modeling Language |

Table des matières

| | |
|---|----|
| Remerciements | 4 |
| Résumé..... | 7 |
| Abstract | 8 |
| Table des matières | 10 |
| Introduction générale..... | 12 |
| 1. Le pluralisme sahélien à l'épreuve du temps..... | 12 |
| 2. Problématique et question de recherche | 13 |
| 3. Ancrage institutionnel et scientifique du travail de recherche | 15 |
| 4. Architecture d'une thèse par articles sur l'évolution d'un modèle « orienté-acteurs » de pluralisme de régulation foncière | 15 |
| 4.1. Article 1 : Formalisation théorique et empirique d'un modèle « orienté-acteurs » de pluralisme de régulation foncière | 16 |
| 4.2. Article 2 : Mise en dynamique de ce modèle « orienté-acteurs » par la simulation participative (via jeu de rôles) | 17 |
| 4.3. Article 3 : Formalisation par un système multi-agents du modèle « orienté-acteurs » de pluralisme de régulation foncière | 19 |
| 4.4. Article 4 : Mise en dynamique dans le temps de ce modèle « orienté-acteurs » par la simulation multi-agents..... | 21 |
| 4.5. Synthèse : une grille de lecture possible du concept de pluralisme sahélien..... | 23 |
| Chapitre 1 : La diversité des perceptions d'acteurs comme essence d'un pluralisme de régulation foncière au Sahel rural | 25 |
| Synthèse | 25 |
| 1. Introduction..... | 27 |
| 2. Cadre théorique..... | 28 |
| 3. Terrain d'étude..... | 29 |
| 4. Méthodologie | 30 |
| 5. Résultats : structuration sur la base du cadre théorique de la diversité des perceptions recueillies sur le terrain..... | 30 |
| 5.1. Une illustration du concept de « diversité des perceptions »..... | 30 |
| 5.2. Structuration des logiques de répartition des droits d'accès aux ressources, par les instances régulatrices désignées | 31 |
| 5.3. Structuration des logiques de choix d'accès et d'exploitation des ressources (pour lesquelles des droits ont été obtenus), par les usagers | 32 |
| 5.4. Facteurs de dynamique des interactions au sein d'un socio-écosystème donné..... | 34 |
| 6. Discussion | 35 |

| | |
|---|----|
| 7. Conclusion | 36 |
| Chapitre 2 : Jouer avec diverses sources de régulation foncière : le pluralisme sahélien | 38 |
| Synthèse | 38 |
| 1. Introduction..... | 40 |
| 2. Cadre méthodologique..... | 41 |
| 2.1. Une conceptualisation du cadre d'analyse « orientée acteur »..... | 41 |
| 2.2. Un jeu de rôles comme méthode d'enquête | 42 |
| 2.2.1. Processus d'élaboration du jeu de rôles | 42 |
| 2.2.2. Hypothèse de recherche que le jeu de rôles cherche à explorer..... | 44 |
| 2.3. Protocole expérimental..... | 44 |
| 2.3.1. Support de jeu et initialisation de l'expérience..... | 44 |
| 2.3.2. Introduction progressive de scénarios de « fragilisation foncière » | 46 |
| 2.3.3. Déroulement global des tours de jeu | 48 |
| 3. Résultats | 49 |
| 3.1. Résultats de l'atelier en zone sylvo-pastorale à faible potentiel d'intensification agricole..... | 49 |
| 3.1.1. Propositions de scénarios de jeu au tour 6 | 49 |
| 3.1.2. Evolution des pratiques d'acteurs en fonction de l'évolution du contexte initial | 50 |
| 3.2. Résultats de l'atelier dans vallée du fleuve Sénégal, zone à fort potentiel d'intensification agricole | 51 |
| 3.2.1. Propositions de scénarios de jeu au tour 6 | 51 |
| 3.2.2. Evolution des pratiques d'acteurs en fonction de l'évolution du contexte initial | 51 |
| 4. Discussion | 52 |
| 5. Conclusion | 53 |
| Chapitre 3 : Dynamiser une pluralité de perceptions sur les régulations foncières : un modèle multi-agent focalisé sur les interactions entre usagers et régulateurs pour l'accès aux ressources sahéliennes..... | 55 |
| Synthèse | 55 |
| 1. Introduction..... | 58 |
| 2. Conceptual and modeling approach | 59 |
| 2.1. Use of an agent-based model..... | 59 |
| 2.2. A 'stakeholder-oriented' framework analysis | 60 |
| 2.3. Conceptual model | 61 |
| 3. Implemented model | 63 |
| 3.1. Entities of the agent-based model | 64 |
| 3.1.1. Spatial entities | 64 |

| | | |
|--|--|----|
| 3.1.2. | Passive entities | 64 |
| | Water sources | 64 |
| | Activities | 64 |
| 3.1.3. | Social entities..... | 65 |
| | Regulators..... | 65 |
| | Water regulators | 66 |
| | Users..... | 68 |
| 3.2. | Simulation settings | 68 |
| 3.3. | Observed indicators..... | 72 |
| 4. | Model verification and validation | 72 |
| 5. | Simulations and results | 73 |
| 5.1. | Simulation scenarios..... | 73 |
| 5.2. | Results | 74 |
| 5.2.1 | Practical application pattern of new land regulation sources according to users' diversity of perceptions..... | 75 |
| 5.2.2 | Practical application pattern of new land regulation sources according to users' identical perceptions..... | 77 |
| 5.2.3 | Practical application pattern of new land regulation sources according to land regulators' plurality of land management objectives | 78 |
| 6. | General discussion..... | 78 |
| 7. | Conclusion | 81 |
| Chapitre 4: Expérimenter l'expression « orienté-acteurs » d'un pluralisme de régulation dans le temps : comment les pratiques foncières sahéniennes intègrent-elles les politiques publiques?..... | | 82 |
| Synthèse | | 82 |
| 1. | Introduction..... | 85 |
| 2. | Materials and methods | 86 |
| 2.1. | Description of a stakeholder-oriented pluralism of land regulation..... | 86 |
| 2.2. | Description of the modelled mechanism of a land regulation source integration within Sahelians land access practices | 87 |
| 2.3. | Use of an agent-based model to formalize our conceptual modelled framework..... | 88 |
| 2.4. | Hypothesis to test using the agent-based model..... | 89 |
| 2.5. | Description of the agent-based model..... | 90 |
| 2.5.1. | Purpose..... | 90 |
| 2.5.2. | Model entities and structure..... | 90 |
| 2.5.3. | Simulation settings | 92 |

| | | |
|--------|--|-----|
| 2.5.4. | Observed indicators..... | 93 |
| 2.5.5. | Model verification and validation | 95 |
| 2.5.6. | Simulation scenarios..... | 96 |
| 3. | Results of simulation experiments: a perception threshold exists and indeed depends on the choices of the new land policy introduction pattern | 98 |
| 4. | Discussion | 101 |
| 5. | Conclusion | 104 |
| | Discussion générale | 105 |
| 1. | Introduction..... | 105 |
| 2. | Perspectives potentielles de recherche | 106 |
| 2.1. | Interactions eau-foncier : des dynamiques enchevêtrées | 106 |
| 2.2. | Mise en dynamique des autres composantes du concept de faisceau de droits, au-delà de l'accès et l'usage des ressources | 106 |
| 2.3. | Amélioration de la prise en compte du processus d'adaptation | 107 |
| 2.4. | Exploration de la pluralité des échelles d'appréhension «orienté-acteurs » d'un pluralisme de régulation | 109 |
| 2.5. | Exploration de la pertinence d'un pluralisme de régulation foncière pour la gestion des ressources naturelles sahéliennes..... | 110 |
| 3. | De la pluralité des perceptions au pluralisme des mondes | 111 |
| 4. | Conclusion | 113 |
| | Références bibliographiques | 116 |
| | Liste des figures | 127 |
| | Liste des tables | 128 |
| | Liste des sigles et acronymes | 129 |
| | Annexes | 134 |
| | Annexe 1 : Grille d'entretien pour le recueil d'un pluralisme de régulation « sur le terrain »..... | 135 |
| | Annexe 2 : An agent-based model to explore a pluralism of land regulation in rural Sahel: supplementary data | 136 |
| | Annexe 3: The Sahelian plurality: a role-playing game on land tenure security diverse perspectives | 234 |
| | Annexe 4: Lexique d'un foncier « orienté-acteurs » | 246 |
| | Annexe 5 : Résultats de simulations de l'intégration de nouvelles régulations foncières dans la situation de référence de pluralisme sahélien | 249 |
| | Annexe 6 : Evolution des pratiques individuelles des joueurs au niveau de chaque plateau de jeu pour les deux ateliers de simulation participative réalisés..... | 255 |

Annexes

Annexe 1 : Grille d'entretien pour le recueil d'un pluralisme de régulation « sur le terrain »

| RESSOURCE | CARACT. DE LA RESOURCE | FORMES DE REGULATIONS MOBILISEES POUR ACCEDER A LA RESSOURCE | | | | | | |
|-------------|------------------------------|--|---|--------------------------------------|--|------------------------------------|--------------------------------------|--|
| | | Formes de régulation privées | Formes de régulation familiales | Formes de régulation villageoises | Formes de régulation communautaires | Formes de régulation lignagères | Formes de régulation étatiques | |
| Terre | | | | | | | | |
| Pâturage | | | | | | | | |
| Bois vivant | | | <div>Cases à remplir selon chaque type d'usager avec les détails sur la nature du droit d'accès à la ressource : accord oral/écrit, droit d'usage/prêt/location/vente/héritage, durée du droit d'accès, périodicité, coût, etc.</div> | | | | | |
| Bois mort | | | | | | | | |
| PFNL | | | | | | | | |
| Eau | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |

Cases à remplir selon chaque type d'usager avec les détails sur la nature du droit d'accès à la ressource : accord oral/écrit, droit d'usage/prêt/location/vente/héritage, durée du droit d'accès, périodicité, coût, etc.

Les combinaisons de régulation réalisées par chaque type d'usager amènent en fonction des autorisations/refus d'accès des instances régulatrices à se constituer un portefeuille final de droits d'accéder aux ressources.

| RESSOURCE | CARACT. DE LA RESSOURCE | NIVEAU DE DROIT résultant de l'autorisation d'accès | | | | | | | | | STATUT | MAITRISE FONCIERE |
|-------------|-------------------------|---|--------------------------------------|-------------------------------------|---|---|--|-------------------------|---|--|--------|-------------------|
| | | Droit d'accès | Droit de prélèvement – Droit d'usage | Droit de tirer un revenu de l'usage | Droit d'investir, d'apporter des améliorations à la ressource | Droit de déléguer l'usage à titre provisoire ou sans terme spécifique | Droit de déléguer l'usage à titre marchand ou non marchand | Droit de mettre en gage | Droit d'aliéner définitivement sous forme de transfert marchand (vente) | Droit d'aliéner définitivement sous forme de transfert non marchand (donation, legs) | | |
| Terre | | | | | | | | | | | | |
| Pâturage | | | | | | | | | | | | |
| Bois vivant | | | | | | | | | | | | |
| Bois mort | | | | | | | | | | | | |
| PFNL | | | | | | | | | | | | |
| Eau | | | | | | | | | | | | |

Annexe 2 : An agent-based model to explore a pluralism of land regulation in rural Sahel: supplementary data

1. CONCEPTUAL MODEL

i. Purpose

The purpose of the model is to support the exploration of a stakeholder-oriented pluralism of regulation regarding the use and management of Sahelian natural resources. The agent-based model simulates the diverse decision-making processes (i.e. the logics of action) of different land actors (users and regulators) when they interact for the access and the use of land and water in a Sahelian environmental context. The outputs of the model result from the simultaneous implementation of the diverse individual decision-making processes.

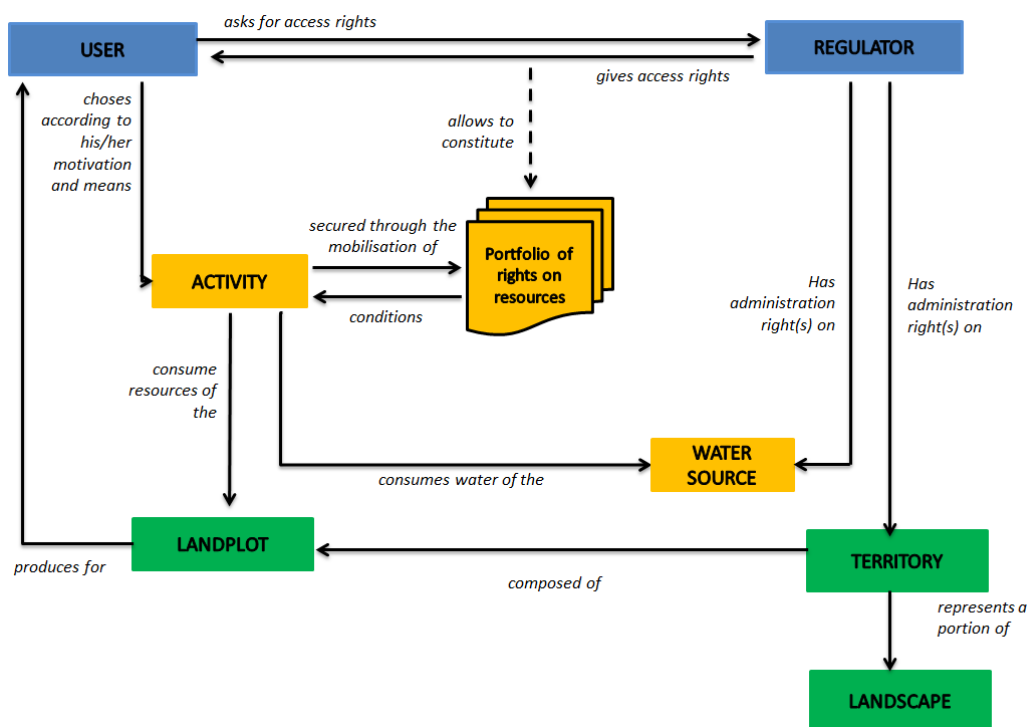


Figure 1: Conceptual model of the entities' interactions

| LEGEND | INFORMATIC TRANSLATION |
|-----------|----------------------------------|
| RESOURCES | Spatial Entities |
| AGENTS | Social Entities |
| | Passive Entities |
| | Collection (attribute of agents) |

To help formalize these uncertain, flexible logics, we performed a direct conceptualisation of the stakeholders' points of view, respecting their perception of the different sources of regulation that can be used according to their own decisions. The model is therefore focused on actors' perceptions, which means it takes into account every land regulation sources that the actors recognize and use,

regardless of whether or not these sources are legally recognized. This is in a way a stakeholder-oriented conceptualization framework.

In this regard, in much of the Sahel, land, natural resources and water official regulations have evolved with very little coordination, and often in different directions. But from the Sahelian actors' perceptions, these different resources are still closely embedded and it is the inseparable association of it that allows them to realize their activities and to produce the food they need. In order to condense the analysis of this complex reality and try to preserve the stakeholders' perceptions, water is considered in this study as one of the Sahelian natural resources. Even if the focus is made on land, the same reasoning applies to water sources and their regulators as the one developed below for land regulators and their territories. We consider in this study the term "land" as the gathering of all natural resources from which a user can request access³⁶.

ii. **Case study of Senegal, a Sahelian country**

The modelled conceptual framework result from a combination between a bibliographical review, and a field experience through two regional case studies in Senegal, a Sahelian country. The field experience was conducted in two parts:

- between April 2011 and June 2013 we conducted three hundred individual semi-structured interviews within two rural areas in Senegal (Ferlo sylvo-pastoral area and the developed part (mostly irrigated) of the river Senegal valley) considered representing national diversity in terms of issues, tensions and uses that can be made of the land. The two zones differ in their degree of integration of intensive farming, accompanied by a more pronounced appearance of official sources of land tenure regulation in the users' practices for access to land;
- in April 2014, a role-playing game was realized and experimented in these two rural areas to test the reality and conditions of the local mobilization and use of the different sources of land tenure regulation. Two participating workshops, each with 20 players (5 players per board) were set up in the villages of Sinthiou Bamambé in the Ferlo sylvo-pastoral area and Guia, in the the river Senegal valley.

a. The Sahelian environmental context

The Sahelian zone is characterized by extreme ecological and climatic spatial variability and uncertainty. The climate is dry and the rains and temperatures are unpredictable, as highlighted by extremely localized differences in their temporal and spatial distribution. The rainfall quantity varies strongly not only from one year to the next but also over the same year from a land plot to another. Consequently, the level of available resources (such as soil fertility, fodder, non-timber forest products (NTFP)...) vary widely according to the rainfall local context. This ecological variability is also geographical, given the topography and fertility of the soils. Overall, this leads to a very dispersed, heterogeneous and unpredictable distribution of environmental conditions over the years and within a given year.

³⁶ All in all, the land resource can cover the flora, the fauna, and the hydraulic systems as long as they are associated to a space of land (de Zeeuw, 1995).

b. Regulation of the Sahelian natural resources

Sahelian inhabitants, who have evolved for centuries in this setting of extreme variability and uncertainty, have forged territory management rules tailored to this uncertainty and scarcity of resources (Ellis et al. 1988, Mehta et al. 1999)..

First, with land rules and a social organization conducive to high mobility of people and activities (especially pastoral transhumance) (Behnke and Scoones 1992), it is possible to take advantage of the best of this variability by searching and exploiting the best environmental conditions where they are temporarily located. Natural resources not being available enough on the same land plot, it requires users to go fulfill their need of natural resources where they can find some. It is also possible to observe on the same land plot multiple different access rights (linked to multiple users).

Indeed, collective management is preferred over individual appropriation of these resources (Berkes et al. 1989, Ostrom 1990), which are too sparse to be appropriated by an individual. The complex rules that are implemented aim to allow a maximum of individuals to benefit from access to some of these resources. Local rules applied in the Sahel are temporally flexible and dynamic and thus favorable for multi-uses (Gallais 1977, Le Roy et al. 1996, Mwangi and Dohrn 2008). Some activities being periodic, seasonal, annual, it requires a frequent renewal of the access rights.

Choices of activity are linked to a flexible resource exploitation system, based on the integration of multiple activities (several types of farming combined with several types of breeding, harvesting etc. which may require water, and seasonal movements). The logic underlying this exploitation system is focused on a diversification of income sources rather than on the practice of a single intensive activity, which would be too subject to chance and uncertainty.

Choices of activity are also linked to the availability of the water resource. Some activities are indeed not feasible without water supply (for example any breeding activity which requiring the watering of the cattle). Moreover, rural activities are distributed in cropping season, the main representation of Sahelian cropping season temporality being the succession of rainy seasons (from June to October) and dry seasons (from October to June). During the rainy season, rain allows any cropping activity even if a more permanent access right to a water source (like a drilling, a well, a riverside, a hydro-agricultural canal...) is not obtained. Conversely, during the dry season, no rural activity is feasible without a water supply.

c. The bundle of rights approach

In order to describe the multiple forms of rights coexisting within the same area researchers have focused on a “bundles of rights” approach (Le Roy 1996, Mehta et al. 1999, Ribot and Peluso 2003,...), allowing identification of “operational rights” (dealing with land uses) and “administration rights” (dealing with the management of these operational rights, their distribution, conflict settlement, sanctions, etc.).

The “bundles of rights” concept illustrates that there is not one right on the land resources, but numerous rights (to use, administer, transfer, etc.), on various resources (land, trees, forest products, water etc.), and that these rights may be claimed by various users (individual or collective) and under the control of different authorities. A bundle of rights can include: access rights; rights to use; rights to earn income from the use; rights to invest in the use; rights to delegate land use temporarily or

without specific terms, in marketable (rent, sharecropping) or non-marketable terms (loan); the right to pledge; and the right to definitively alienate, through a marketable transfer (sale) or donation.

These land rights can be available all year, or only over a certain period (for example a right to use only during the dry or the rainy season) and for a certain duration, from the cropping season up to several years (for example, a user can benefit from a right to use a land only for rainy season during all his life). Access rights can be free, or linked to a certain monetary or non-monetary cost (gifts, labor force, sharecropping, loan, rent etc.).

The nature of the land right, what it allows, its cost, its duration, and a set of other criteria help constituting a specific perception of land tenure security for each Sahelian user, which conditions his choice of rural activity in relation with the act of investment he can consider. Indeed, the perception of land tenure security can be affected by the nature (and the need of investment) of the rural activity performed (Bruce and Migot-Adholla 1994). For example, an oral periodic right to use a land only during the rainy seasons can be considered safe enough to realize extensive cropping (millet, sorghum, maize, fonio...), but not safe enough to start more intensive cropping (groundnut, fruit trees, market gardening...). Land tenure security is therefore in this approach considered as a feeling, resulting from a dynamic process which changes and adapts itself to the conditions of a given context (Bruce and Migot-Adholla 1994, Le Roy 1999, Cotula 2012).

Besides, even if the focus is made, for the clarity of the analysis, on the consideration of two main types of distinct land actors (users and regulators), the boundaries between users and regulators can in reality be very fuzzy. When Sahelian users benefit for example from a part of the bundle of rights that allow them to delegate their land access right, they become themselves regulators, and can decide according to their own logic of action to share their land with other users, through marketable (rent, sharecropping) or non-marketable terms (loan).

This last statement leads to the question of the spatial and social scale of exploration of the stakeholder-oriented pluralism of regulation. Whether we consider the regulation or the use of land resources, each “collective scale”: a family, a village, a lineage, a local community, an ethnic group, etc. can include intra/inter forms of land regulation pluralism, which express itself to the spatial scales of a land plot, a farm, a territory village, a rural community, a region, a country...

d. A stakeholder-oriented pluralism of land regulation sources

As the land tenure policies set up by states do not recognize the local regulation sources described above, they have used approaches to land tenure and ownership that are too different to the local context for it to be possible to remove them (Mwangi and Dohrn 2008). The management of land resources is therefore built on several overlapping land regulation systems where numerous regulators intervene.

The Senegalese decentralization land policy officially provides a territory management mandate to local communities, who deliver land allocations, equivalent to authorisations of use of the land (users are usufructers of the land they farm). The central State continues to take part in this management, for example by allotting large portions of land through land title (private ownership) often to State members or big investors. Moreover, even if local communities are the official designated territorial management regulators, the traditional system, as described above, is commonly respected, and customary headmen can remain the reference regulators for anything concerning land and natural resources (drawing up of rules, land allotments, regulation conflicts).

This stakeholder-oriented conceptual framework led us to considering the various systems of rules as simple 'potential' sources of regulation. The term 'source' carries the idea that users make partial use of a set of rules and regulatory authorities with no systemic approach. It is not because a user decides at time *t* to use a particular authority or a particular regulation that he will necessarily adopt the entire functioning and logic of the system with which it is associated. Local stakeholders construct their own 'operation puzzle' by taking pieces for this from the different systems available to them. The puzzle changes as time goes by according to experience and local social interactions that modify the legitimacy of one regulation system or another, or rather of such and such a way of drawing a rule from a regulation system.

e. Interactions processes for the management and use of land access rights

Each regulator of these different land regulation systems has administration rights on a territory, representing a portion of the global landscape. Different regulators can have similar, complementary or overlapping administration rights on the same territories. During his exercise of administration, a regulator has his own perception of the ways he wants to implement the rules and laws on his land territory, and acts therefore according to its own logic, which is not necessarily compatible with that of other regulators. The focus for allocating resource access rights can for example be made on users' capital, favoring requests of the users with the highest capital or the most intensive activities. But it can also be made on users themselves, by adapting access authorizations to the assurance that all the users of the regulator territory have resource access rights. The focus for allocating resource access rights can also be made on resources environmental state or on customary principles (e.g. primacy to the initial establishment, or transmission to the first son) etc.

Sahelian users also apply their own logics of action, and the various present or past laws are interpreted and used—or not used—according to their perceptions. Users seems to mobilise this pluralism of land regulation at least partially by following an imitation logic, adapting themselves to the prevalent land regulation source (whether it is formal or informal) active in the rural zone where is situated the resources for which they require the access. A user who wants to access a resource will base his decision on the ways the other users that already exploit the spaces which interest him have obtained their own access rights. Another component of a user land tenure security would therefore be the recognition by the other users, because this recognition assures him a non-contesting of his resource access right(s). This prevalence of a land regulation source could be defined as the source of regulation which is the most mobilized by the users of the area already exploiting the concerned natural resource. The prevalence is therefore associated with the nature of the rural activity users want to realize (because this choice of activity defines the need of natural resource: soil fertility if a user wants to farm, fodder if it is a breeder, NTFP if he wants to harvest etc.).

In the same rural zone, several sources of land regulation can overlap according to the activities (and thus the different concerned resources). Some farmers of the area can for example mobilize an official instance such as a local community (or the State) in order to obtain a land allocation (or a land title) for their land while at the same place and time, pastures for the breeders are still managed by oral agreements delivered by customary headmen, with no recognition from the senegalese land law. Following these conditions, a new land regulation (like a new land use policy for example) will be really effective only in the rural zones where it becomes a way of accessing natural resources settled in the practices of the users of the concerned zone.

The nature of the new land regulations introduced until now by land use policies (land title, land allocation, lease...) do not seem to have a value for Sahelian users, they chose to mobilise the new regulation in a strategic way, because it seems to constitute their better land tenure security in the new land insecurity contexts where their already existing practises are not anymore enough. These new sources of land regulation do not initially result from actors practices. Users therefore consider these changes with a certain distance, mobilizing them only in the rural zones where their peers have already legitimized them in their practices of land access. This legitimization seems more to prevent users from the possible effects of these new imposed regulations than to reassure rights susceptible to be locally questioned. This could explains why in the rural contexts where official land regulation sources have not much influence, traditional land regulations remain a sufficient level of safety for users to invest in their rural activities on the only basis of these “customary” informal land rights.

f. Adoption of a land regulation change within this stakeholder-oriented pluralism of land regulation sources

All in all, the evolution of the land tenure situation in rural areas in the Sahel thus shows that these policies have finally accentuated the existing complexity (Bruce and Migot-Adholla 1994, Platteau 1996, Mehta and Leach 1999, Cotula 2012). Indeed, rather than abandoning their practices, local populations have added the land tenure policies set up successively to their pre-existing sources of regulation. It does cause a certain uncertainty that is difficult to grasp (Metah et al. 1999, Mwangi et Dohrn 2008): different stakeholders make therefore claim rights to the same land by referring to different regulatory sources.

The dynamic and diversity of expression of this stakeholder-oriented pluralism of regulation is linked to the concept of perception thresholds, above which changes are observed in users’ practices of mobilisation of land regulation sources, but below which no matter the nature of the introduced change (for example, a new land use policy), it does not seem to be perceived, or in any case considered by Sahelian users.

Changes in land regulation can be introduced through a diversity of **intensities** (as the proportion of users mobilizing this new land regulation source on a same area) and **configurations** (as the spatial distribution of the users mobilizing the new land regulation source). This leads to a diversity of landscape composition evolutions at a general scale, according to the introduced changes. For example, a new development project can bring changes in land regulation on one or several contiguous areas (the project works with all the users of a village, of a local community, of a hydro-agricultural area...). A new land use policy will however concern all the users of the country, oftenly on a voluntary basis (users have to launch the process of converting and formalizing their land rights). This approach have generally led to a weak foothold of the state in all the Sahelian countries who had initiate it. Another example is the one of a (foreign) land investment project, which concerns a few users (mainly only the investor(s)) but can have a large impact on the general landscape composition, according to the number of hectares concerned by the investment project.

According to the intensity and the configuration of the introduced change - coupled with a diversity of criteria such as the pre-existing perceptions of land tenure security that users of the area(s) concerned by the land regulation change have or not - the perception thresholds (and the mobilization of the new land regulation in consequence) will vary.

2. MODELLING THE SYSTEM WITH THE HELP OF THE CORMAS PLATFORM

The modelled conceptual framework being a direct conceptualization of the stakeholders' points of view on this pluralism of land regulation sources, we chose to implement it (in order to explore it) within an agent-based model (<http://cormas.cirad.fr/>). Indeed, whenever it makes sense to take a range of actors having different characteristics into account, and to finely represent their interactions between one another and with their environment, the multi-agent modelling is an effective solution for effectively reporting this complexity (Bousquet, Barreteau et al., 1996; ComMod, 2005). Cormas – the platform used for the model construction – was specially developed by CIRAD for simulating natural resource management and is oriented towards the representation of interactions between stakeholders on natural renewable resource use. It allows to model distinct individual behaviors (agents) according to a diversity of logics (e.g. the various perceptions on pre-existing and/or new land regulation sources), which bring the agents to opt for different practices according to the context of the proposed simulation.

i. General overview of the agent-based model

The agent-based model allows the expression of a plurality of decision-making processes for the different social entities of the model:

- For the regulators, who manage water sources and land territories in which they allocate land or water access rights according to different logics of action;
- For the users, who choose activities requiring a need of water and land for which they interact with different regulation sources in order to obtain access rights. According to the response of regulators, users will finally realize activities and consume the resources of the land plots and the water of the water sources for which access rights have been obtained.

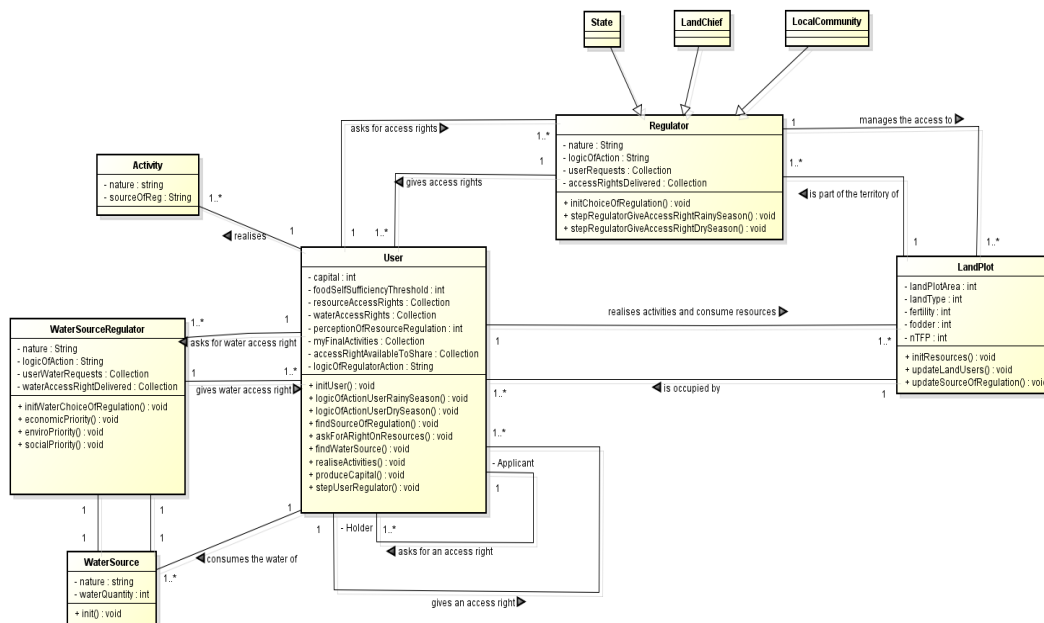


Figure 2: UML class diagram of the agent-based model

ii. **Entities of the agent-based model**

a. *Spatial entities*

The environment of the model represents a typical Sahelian territory composed of spatial entities known as land plots, which can be of different types: the lowlands, the intermediary sandy areas and the degraded lands (define through the attribute "LandType"). Each land plot containing a set of attributes on natural resources: fertility, fodder, and non-timber forest products (NTFP). The initial quantity of resource is the same of each type of resource on a land plot, but differs from one land plot to another according to the nature of the land type (lowlands being the most fertile areas, we find more important quantity of resources there).

This quantity is known through the multiplication of the size of the land plot (known through the land plot attribute: landPlotArea) with the value, according to the land type of the land plot, of the attributes: "lowlandSoilPerHaNit", "degradedSoilPerHaNit" and "sandySoilperHaNit". Indeed, each land plot has an attribute defining the area of the land plot. Three choices of value exist for this attribute, linked to three possible scales of land plot: 1 hectare, 50 hectares, or 1000 hectares. The quantity of each natural resource on each land plot is then updated after each rural activity which consume it (for example if the rural activity is breeding, it will consume the fodder resource) and at the beginning of each rainy season where natural resources are partially or totally replenished.

From an environmental point of view, the fertility of a land plot is considered "high" if the value of its attribute "fertility" is higher than one third of the initial fertility quantity. The value is similarly considered "low" if the value of its attribute "fertility" is lower than one third of the initial fertility quantity.

Each land plot has an attribute "localCommunity", an attribute "landChiefTerritory" and an attribute "Stateplot" that link the land plot respectively to a local community agent, a land chief agent and the state agent who are in charge of managing it. The land plots also have a set of attributes regarding the evolution of their availability of hectares for the different sources of land regulation: "availableHaLandChief", "availableHaLocalCommunity", "availableHaState". These attributes are by default equal to the value of the attribute landplotArea, and their values evolve according to the land activity of the different regulators who manage the landplot. For example, if a land plot area is equal to 50 hectares, and a user receives a right to use on this land plot for 10 hectares from a landChief regulator, the attribute "availableHaLandChief" will take the value $50 - 10 = 40$ hectares.

Each land plot also possesses an attribute "landPlotUsers" which informs the users of who have resource access rights on the land plot, and especially from which regulator(s) the different user agents obtained those access rights. The attributes "Land Chief Regulation", "Local Community Regulation", "State Regulation" and "Other User Regulation" of each land plot then inform the modeler (and the users) of the general prevalent land regulation source at the scale of the land plot (by adding the number of access right delivered by each sources of regulation on the land plot).

At last, each land plot possesses a set of attributes: "Land Chief update", "Local Community update", "State update" and "Other User update". These "update" attributes are by default equal to zero, and it is by modifying the value of these attributes that the modeler can introduce changes in the sources of land regulation during the simulation. The modification of these values symbolize new (fictive)

user agents that would access the resources of the land plot through this source of land regulation (the state if the modeler modify the state update attribute, the local community if he modify the local community update attribute etc.). These “update” attributes are part of the calculation of the prevalent land regulation source. Indeed, to define the number of users mobilizing a land regulation source at the scale of the land plot, the agent-based model adds the result from the collection “LandPlotUsers” to the value of this “update” attribute. For example, if the result of the consultation of the collection “landPlotUsers” shows that 10 user agents are exploiting the resources of the land plot through land Chief access rights, and that the value of the attribute “landChiefupdate” is 20, the total number of users mobilizing the land chief regulation to access resources will be 30 (and the attribute “Land Chief Regulation” will be equal to 30).

b. Passive entities

Water sources

Various water sources, randomly distributed in the environment, exist in the agent-based model: wells, drillings and ponds (define by their attribute “nature”). Wells and drillings are permanent water sources, managed by water regulators agents (social entities). These water sources are linked to their water regulator through the attribute “waterRegulator”. Ponds are temporary water sources which appear only in the rainy season (the number of ponds created will vary according to the quality of the rainfall). Access to the ponds is free, it does not require to negotiate this access with any regulator.

According to their nature, water sources have different available quantities of water. This value is known by the attribute “waterQuantity”, initially equal to the value of the attributes “initWaterDrillingQuantity”, “initWaterWellQuantity” or “initWaterPondQuantity” according to the nature of the water source. This value is then updated, like the other natural resources, after each rural activity which consumes water and at the beginning of each rainy season where water sources are partially or totally replenished.

Activities

According to the amount of capital they possess, user agents can have up to 6 possible choices of activity: intensive farming, extensive farming, intensive breeding, extensive breeding, intensive NTFP harvesting, and extensive NTFP harvesting. These activities require more or less initial input investment, with a more or less important natural resource consumption and finale production in consequence. It can be associated with water resource in order to improve the yield of already intensive farming or harvesting activities (which become then irrigated intensive activities) (see Table 1). Water is required for breeding activities (a user agent cannot realize these activities without water), or for any rural activity during the dry season (a user agent with no water access right won’t be able to realize activities at this period of the year). At last, extensive farming and harvesting activities which do not require a more permanent water access are only possible during the rainy season (with the rainfall supply). According to the nature of the activity, the nature of the resource consumed on the land plot varies: farming activities consume the fertility of the land plot, breeding activities consume the fodder and harvesting activities consume the NTFP resources.

Each time a user agent realizes a rural activity, a passive located entity is created on the land plot for which the user agent has obtained a resource access right (allowing him to realize this activity). The entity Activity is composed of the attributes:

| Attribute | Definition |
|------------------|---|
| nature | Defining the nature of the activity |
| user | linking the activity to the user agent who realize it |
| localization | Linking the activity to the land plot on which it is realized |
| quantOfHectares | Defining the number of hectares of the land plot that the activity required |
| QuantOfResources | Defining the ideal/theoretical quantity of resource (fertility, fodder or NTFP according to the nature of the activity) needed for the activity |
| effectiveQuant | Defining the real quantity of resource consumed according to the availability of resources on the land plot |
| WaterNeeded | Defining the ideal/theoretical quantity of water needed for the activity |
| WaterAvailable | Defining the real quantity of water consumed according to the availability of water of the water source |
| CapitalNeeded | Defining the investment needed to realize the activity |
| sourceOfReg | Defining the source of regulation (the regulator agent) allowing the user to realize his activity through the resource access right he delivered to him |

Table 1: attributes for the calculation of a rural activity cost and level of production

| Activity | Initial Investment (/ha) | Resource consumption (/ha) | Water consumption (/ha) | Productivity rate | Irrigation rate |
|---------------------------|----------------------------------|------------------------------------|---------------------------|-------------------|-----------------|
| Intensive Farming | investMinIntensiveFarming | intensiveFertilityConsumptionPerHa | farmingWaterPerHa | intensiveRate | irrigationRate |
| Extensive Farming | investMinExtensiveFarming | extensiveFertilityConsumptionPerHa | | extensiveRate | irrigationRate |
| Intensive Breeding | investMinIntensiveBreeding | intensiveCattleFodderPerHa | intensiveCattleWaterPerHa | intensiveRate | irrigationRate |
| Extensive Breeding | investMinExtensiveBreeding | extensiveCattleFodderPerHa | extensiveCattleWaterPerHa | extensiveRate | irrigationRate |
| Intensive NTFP Harvesting | investMinIntensiveNTFPHarvesting | intensiveGatheringPerHa | nTFPHarvestingWaterPerHa | intensiveRate | irrigationRate |
| Extensive NTFP Harvesting | investMinExtensiveNTFPHarvesting | extensiveGatheringPerHa | | extensiveRate | irrigationRate |

For example, if a user realizes an activity of intensive farming on 3 hectares of a land plot, he will initially deduct from his attribute “capital” the value $[\text{investMinIntensiveFarming} * 3]$. He will consume the value: $[3 * \text{intensiveFertilityConsumptionPerHa}]$ of the fertility of the land plot. If he realizes this intensive farming with a water supply, he will also consume the value: $[3 * \text{farmingWaterPerHa}]$ of the water of the water source for which he has obtained a water access right. His final production will be equal to: $[3 * \text{intensiveFertilityConsumptionPerHa} * \text{intensiveRate} * \text{irrigationRate}]$, and will be added to his attribute “capital” at the end of the simulation step.

The agent-based model take into account the potential gap between this “ideal”, theoretical scenario of activity and the current state of natural resource and water availability. If the quantity of resource on the land plot or on the water source is lower than the user’ expectations, he will consume the maximum available at the time of his activity, and his production level will be adapted (and reduced) in consequence.

c. Social entities

Regulators

From the sub-class Regulator, the agent-based model considers 3 possible classes of regulator agents, corresponding to 3 sources of regulation existing within the pluralism of land regulations for securing access to resources:

- the land chief agents, representing the weight of tradition,
- the local community agents, representing the decentralization policy,
- the state agent (central as regionalized).

These regulators represent different rules and laws which exist, or have existed, but which in any case make sense for the users who decide to mobilize them. According to the scenarios the modeler decides to explore, it is possible to introduce into the model up to all of these potential sources of land regulation.

Each regulator agent (Land Chief, Local Community and State) possesses an attribute “resourcesUnderMyRegulation” representing the set of land plots on which he has an administration right. He knows the total size of his territory through the attribute “sizeOfterritory” (equal to the adding of the number of hectares of each land plot of his attribute “resourcesUnderMyRegulation”). For land chief agents, it represents their respective land territories (land plots are linked to their land chief regulator agent through their attribute landChiefTerritory), and for local community agents the decentralized territories they are mandated to manage (land plots are linked to their local community regulator agent through their attribute localCommunity). For the state agent (only one agent of this type created), he always manages the whole territory, known as the state domain (the State knows and is linked to all the land plot of the agent-based model environment, through their attribute “stateplot”). Different regulator agents can have the same land plot to manage on their respective territories, in order to illustrate the overlap of land regulation systems.

Each regulator agent has an attribute “communityOfUsers” allowing him to know the user agents that are part of his landChiefTerritory (if the regulator is a land Chief), his local community (if the regulator is a local Community) or his state domain (if the regulator is the state). As same as for the land plots, the state regulator agent knows all the users of the agent-based model environment, and a same user is attached to a landChiefterritory and to a localCommunity (and to the State) at the same time.

Each regulator agent has an attribute “logic of action” defining the logic he will follow to distribute resource access rights on the land plots he manage. This attribute can take the value: #economic, #social, #enviroConserv or #enviroResto according to the objective the regulator agent prioritizes (see Table 2).

Table 2: synopsis of the regulator different logics of action

| Objective | Logic of action |
|------------------|---|
| #economic | The focus for allocating resource access rights is here made on users' capital, regulator agents favoring requests of the users with the highest capital |
| #social | The focus for allocating resource access rights is here made on users themselves. A regulator agent following this logic will adapt his access authorizations to the assurance that all the users of his territory have at least one resource access right |
| #enviroConserv | The focus for allocating resource access rights is here made on the conservation of resources environmental state. A regulator agent following this logic will close the access to the land plots of his territory where the state of the resources is the best to optimize their environmental durability |
| #enviroResto | The focus for allocating resource access rights is here made on the restauration of resources environmental state. A regulator agent following this logic will close the access to the land plots of his territory where the state of the resources is the worst, to allow their fastest and better reconstruction. |

Endowed with his own logic of action, each regulator agent manages for every season the resource access rights on the land plots of his territory (see Figure 3). When a regulator agent finally decides to give a resource access right on a land plot to a user agent, he gives him an OrderedCollection composed of:

| Detail of a resource access right: | #social | #economic | #enviroConserv | #enviroResto |
|--|--|--|---|--------------|
| A nature of resource access right | Randomly chooses between #rightToUse and #rightToInvestInTheUse. The agent-based model focuses on these two levels of the bundles of rights because it represents two forms of space appropriation already highly differentiated, which impact the decision of investment for the users | | | |
| A surface, in hectares, localized on one or several land plot(s) | Equal to the value of the attribute “SocialOptimalSize” | Equal to the value of the user request | Equal to the value of the attribute “EnviroOptimalSize” | |
| A period | Randomly chooses between: #drySeason, #rainySeason and #annual | | | |
| A duration | Randomly chooses between a range of duration (from the season up to several years) | | | |
| A access price | Equal to the value of the regulator attribute “rentingPriceCommunity” | | | |

Note here that when user agents make land right requests to regulator agents, they ask for a defined land plot, a defined surface and a defined nature of access right, resulting from the choice of activity they are planning to realize. All the user requests are collect and known by a regulator agent through his attribute "usersRequests". According to their own logics of action, regulators will choose to follow the users wishes, or decide themselves which land plot will be allocate, for which surface, which

period, duration, and for what purpose (to use only, or right to invest in the use). All the resource access rights delivered by a regulator agent are kept in his attribute: “accessRightsDelivered”.

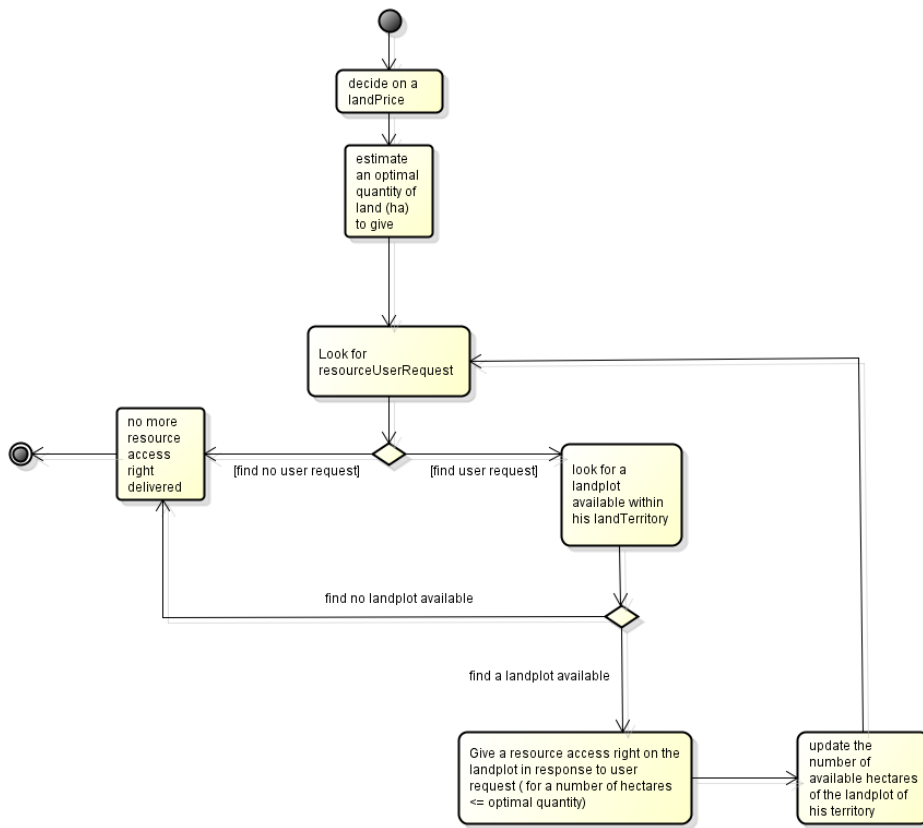


Figure 3: activity diagram for a land regulator and details of its different logics of action according to the objective he prioritizes

| Choice of logic of action | Decide on a unit value (/ha) for his attribute “rentingPriceCommunity” | Estimate an optimal quantity of land to allocate | Look for resourceUserRequest | Look for an available land plot |
|---------------------------|--|--|--|--|
| #social | Allocates only free lending | $\text{SocialOptimalSize} = (\text{regulator territory size}) / (\text{number of users requests})$ | Selects a user from a social ranking of the user requests, prioritizing in the first part the ones with no (or few) resource access rights | Considers all the land plots of his territory for which the attribute $\text{availableHa} > 0$ |
| #economic | Randomly chooses between a range of unit prices | Follows the users wishes in their requests | Selects a user from a wealth ranking of the user requests prioritizing in the first part the ones with a high amount of capital | |
| #enviroConserv | | $\text{EnviroOptimalSize} = (\text{Number of land plots with low fertility}) /$ | Selects randomly a user from the user requests | Considers only the land plots with low |

| | | | | |
|--------------|--|--|--|--|
| | | (Number of user of the regulator community) | | fertility and with availableHa > 0 |
| #enviroResto | | EnviroOptimalSize = (Number of land plots with high fertility) / (Number of user of the regulator community) | | Considers only the land plots with high fertility and with availableHa > 0 |

Water Regulators

Each water regulator agent created in the agent-based model has in management one water source (well or drilling) known through his attribute "WaterSourceUnderRegulation". As same as for the land regulators, he regulates for every season the water access rights on his water source, endowed with his own logic of action (see Table 3).

Table 3: synopsis of the water regulator different logics of action

| Value of the attribute | Logic of action |
|-------------------------------|---|
| #economic | The focus for allocating water access rights is here made on users' capital, regulators favoring requests of the users with the highest capital |
| #social | The focus for allocating water access rights is here made on users themselves. A regulator following this logic will adapt his access authorizations to the assurance that all the users who have requested a water access from his water source have at least one water access right |
| #enviro | The focus for allocating water access rights is here made on water environmental state. The regulator following this logic will close the access to his water source when the water level goes below a certain environmental level. |

When a water regulator agent decides to distributed a water access right to his water source, this access right is constituted:

- of a certain quantity of water, representing what the user is allowed to take, and define according to the water regulator logic of action;
- for a duration: define by the water regulator attribute "waterRightDuration"
- at a certain cost, known through the water regulator attribute "waterPrice" and defined by the water regulators according to his logic of action.

As with land regulators, when user agents make water right requests to water regulator agents, they ask for a defined water quantity resulting from the choice of activity they are planning to realize. These requests are collect through the water regulator attribute "userWaterRequests". According to their own logics of action, water regulators will choose to follow the users' wishes, or decide themselves which water quantity they allow. All the water access rights delivered by a water regulator agent are kept in his attribute: "waterAccessRightsDelivered".

For both steps, water regulator agents do a succession of actions for distributing water access rights on their water sources, the conditions linked to the realization of these actions depending on the logics they choose to follow (see Table 4).

Table 4: activity diagram for a water regulator and details of its different logics of action according to the objective he prioritizes

| Choice of logic of action | Decide on a WaterPrice (/unit of water) | Estimate an optimal quantity of water to distribute | Look for WaterUserRequest |
|-----------------------------|---|---|---|
| #social (see Figure 4) | Allocates only free water access right | (water source total quantity of water) / (number of users requests) | Selects a user from a social ranking of the user requests prioritizing first the ones with no (or few) water access right |
| #economic (see Figure 5) | Randomly chooses between a range of unit prices | Authorize the quantity users request while the water source quantity >0 | Selects a user from a wealth ranking of the user requests prioritizing first the ones with a high amount of capital |
| #enviro (see Figure 6) | | Authorize the quantity the users request while the water source quantity is higher than one third of the initial water source quantity (in relation with the water source nature) | Selects a user randomly from the user requests |

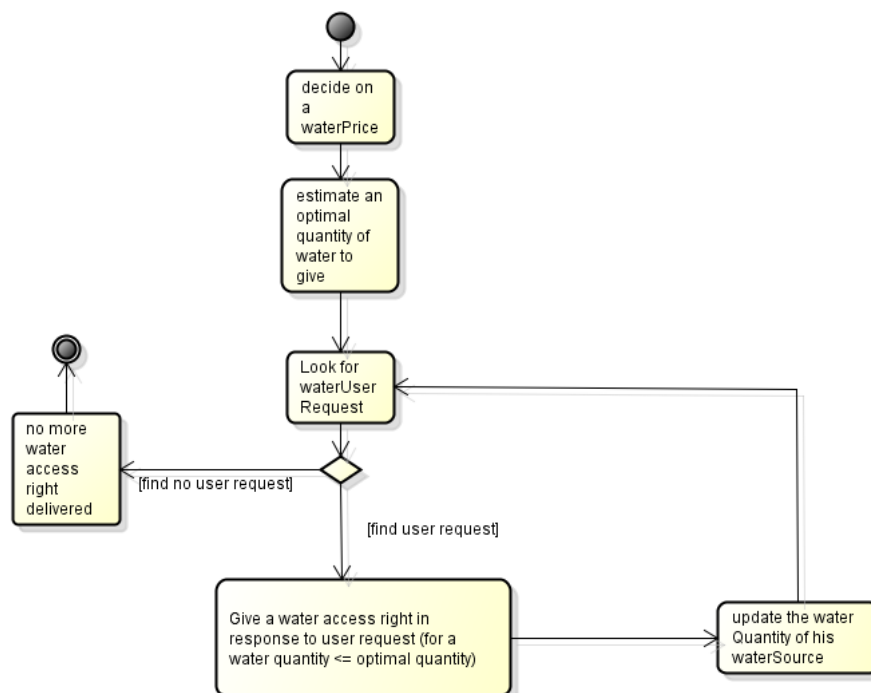


Figure 4: activity diagram for a water regulator prioritizing social objectives

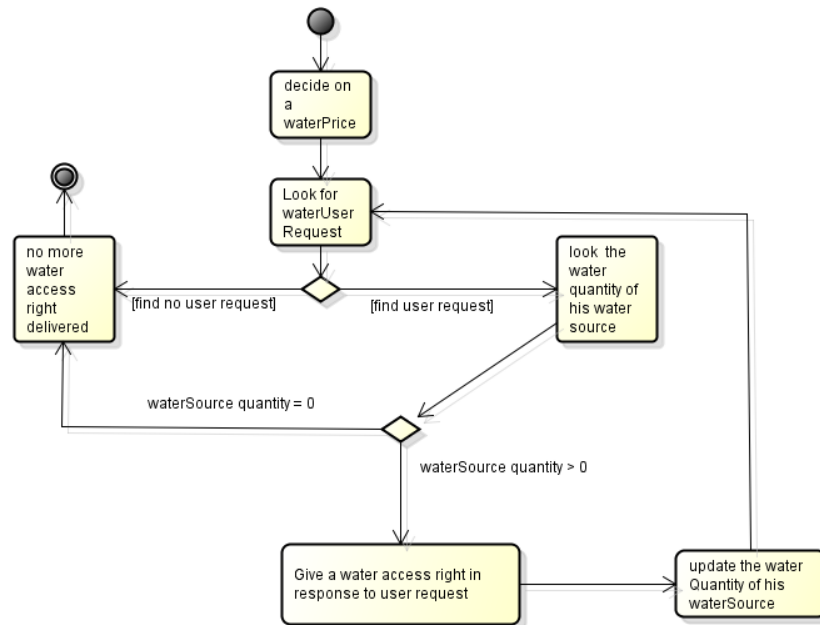


Figure 5: activity diagram for a water regulator prioritizing economic objectives

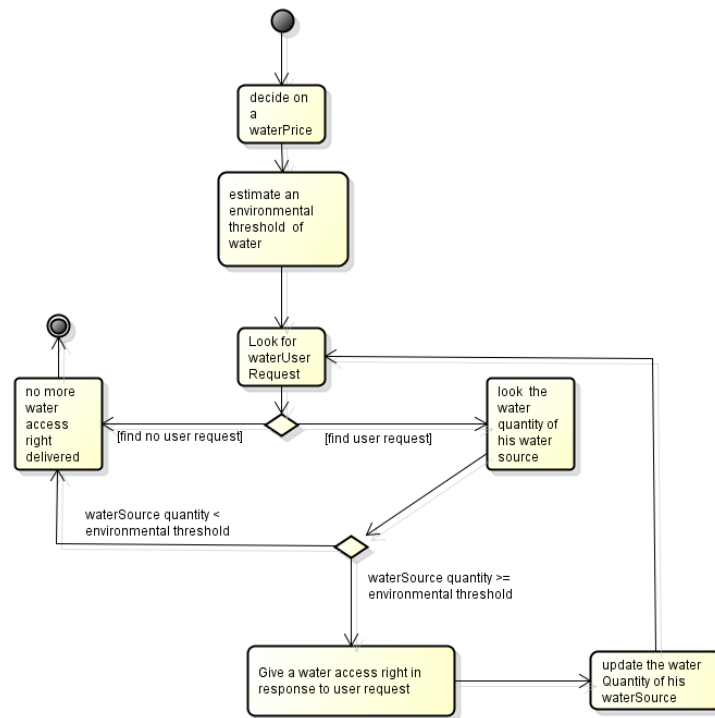


Figure 6: activity diagramm of a water regulator prioritizing environmental objectives

Users

In the agent-based model, three natures of user agent are represented: a rural family, a village or a group of villages, according to the scale analysis of the pluralism of land regulation that the modeler wants to explore. According to his nature, a user agent will have more or less important values of his attributes "collectiveMembers", "foodSelfSufficiencyThreshold" and "capital" (this attribute

symbolizes the gathering of the physical capital, the human capital and the financial capital). User agents created are initially randomly localized in the model environment, and by doing so attached to a land territory (linked to a land Chief agent through their attribute "landChiefTerritory"), a local community (linked to a local community agent through their attribute "localCommunity"), and to the state domain (the state agent knows all the users).

At the beginning of the dry and the rainy seasons (see Figures 7 and 8), user agents start by choosing a first potential activity to realize according to their capital. To do so, they look on their attribute "libraryOfActivities" to select the most intensive activity they can realize (by comparing the different values of initial investment per ha of the activities of the Library with the value of their own capital). Then, they ask (if necessary to their activity) for water access rights to the regulator of the water sources they perceive. To do so, they look around them according to their individual value of attribute "perceptionOfResourceRegulation" (it defines the extent of the water sources they consider) where are the water sources which the higher quantity of water, and they send a request to each of the water regulator linked to the concerned water sources. Requests of a user agent are collect through his attribute "waterAccessRightRequests". Responses from the water regulators (according to their own logics of action) are available through the user attribute "waterAccessRights". According to these responses, user agents will maintain their first choice of activity, or opt for a new one which does not require a water supply (this action is possible only during the rainy season, otherwise a user agent with no water access rights is not able to realize any rural activity). To do so, they look on their attribute "libraryOfActivitiesNoWater".

The choice of activity will lead to a need of a certain number of hectares to realize it (known by the attribute "hectaresNeeded"). This number of hectares is calculated in the agent-based model from the operation: $[\text{capital of the user} / (\text{initial investment per ha of the chosen activity})]$. A user agent always begins by consulting his portfolio of resource access rights (through his attribute "resourceAccessRights"), to know (1) if he already possess available resource access rights, and (2) if these rights are suited and/or sufficient (in term of number of hectares for example, or of nature of access right) with regard to the activity he decided to realize. If his portfolio of resource access rights is empty, unsuitable or simply insufficient, the user agent is going to ask for a new resource access right and by doing so enter in interaction with a source of land regulation.

According to the nature of the chosen activity, a need to reach the natural resources (fertility for farming, NTFP for harvesting, fodder for breeding) is necessary. Users ask for this access to the regulators who manage the resources they request. To do so, they look around them according to the individual value of their attribute "perceptionOfResourceRegulation" (it defines the extent of the land plots they consider) where are the resources with the higher quantity and they send a request to the prevalent land regulator linked to each land plot they have found. This prevalence is known through a ranking by the user agent of the values of the land plot attributes: "Land Chief Regulation", "Local Community Regulation", "State Regulation" and "Other User Regulation". This action symbolizes the fact that a user who wants to access a resource will base his decision on the ways the other users that already exploit the spaces which interest him have obtained their own access rights. If no prevalent source of regulation emerges from the land plot the user agent needs to access, he will by default consider asking for his access right to the land chief agent of the land plot considered.

All the requests of a user agent to land regulators are collect through his attribute “resourceAccessRightRequests”.

According to the sources of land regulation mobilized and to the return (favorable or unfavorable) of the land regulators, the user agent find himself with a updated portfolio of resource access rights that will condition his final activity decision and the consumption of natural resources that results. For example, all user agents respect the rule about what the nature of the access right allows them to realize. Intensive activities requiring consequent initial investment are considered only by users with rights to invest in the use. Thus if at the end of the interactions with regulators the users find themselves with simple rights to use, they will reconsider their choices to opt for extensive activities (by looking on their attribute “libraryOfExtensiveActivities”). If a right to invest in the use is obtained, user agents will base their final decisions of investment on their attribute “perceptionOfAccessRightDuration”, specific to each user agent. For any right to invest in the use, if the duration of the access right delivered by the regulator goes below the value of this perception of access right duration, the user will consider the act of investment too risky, and will opt for extensive activities.

Part of the production serves to satisfy the food needs of the family, the village or the group of villages (according to the nature of the user agent), and the potential surplus is put back in the user capital for the following step, or season. At the end of each season, user agents update their portfolio of resource access rights, by removing the rights for which the duration reaches its end.

The last source of land regulation considered in the agent-based model is the inter-users regulation. If a user has available hectares to share on his land plot(s) (only for the ones for which the obtained access is a right to invest in the use), he can allow access to it to the other users, becoming by doing so a regulator. To do so, each user agent possessing rights to invest in the use will compare his own need of hectares (through the value of his attribute “hectaresNeeded”) with the total number of hectares proposed with his land right. If his need of hectares is lower than the total available number of hectares, he will propose the complement to other user agents through his attribute “accessRightAvailableToShare”. All the requests from the other users are collect into the attribute “otherUserRequests”.

User-regulators follow the same logics of action as other regulators to define their access permission, they can choose between: #economic, #social, #enviroConserv and #enviroResto (known through the user attribute “logicOfRegulatorAction”). These logics symbolize the various manners to make land circulate between users, through lend (free access), rent (paying access), or through fallow dynamics (close the access to allow the fertility of the land to regenerate) (see Table 5).

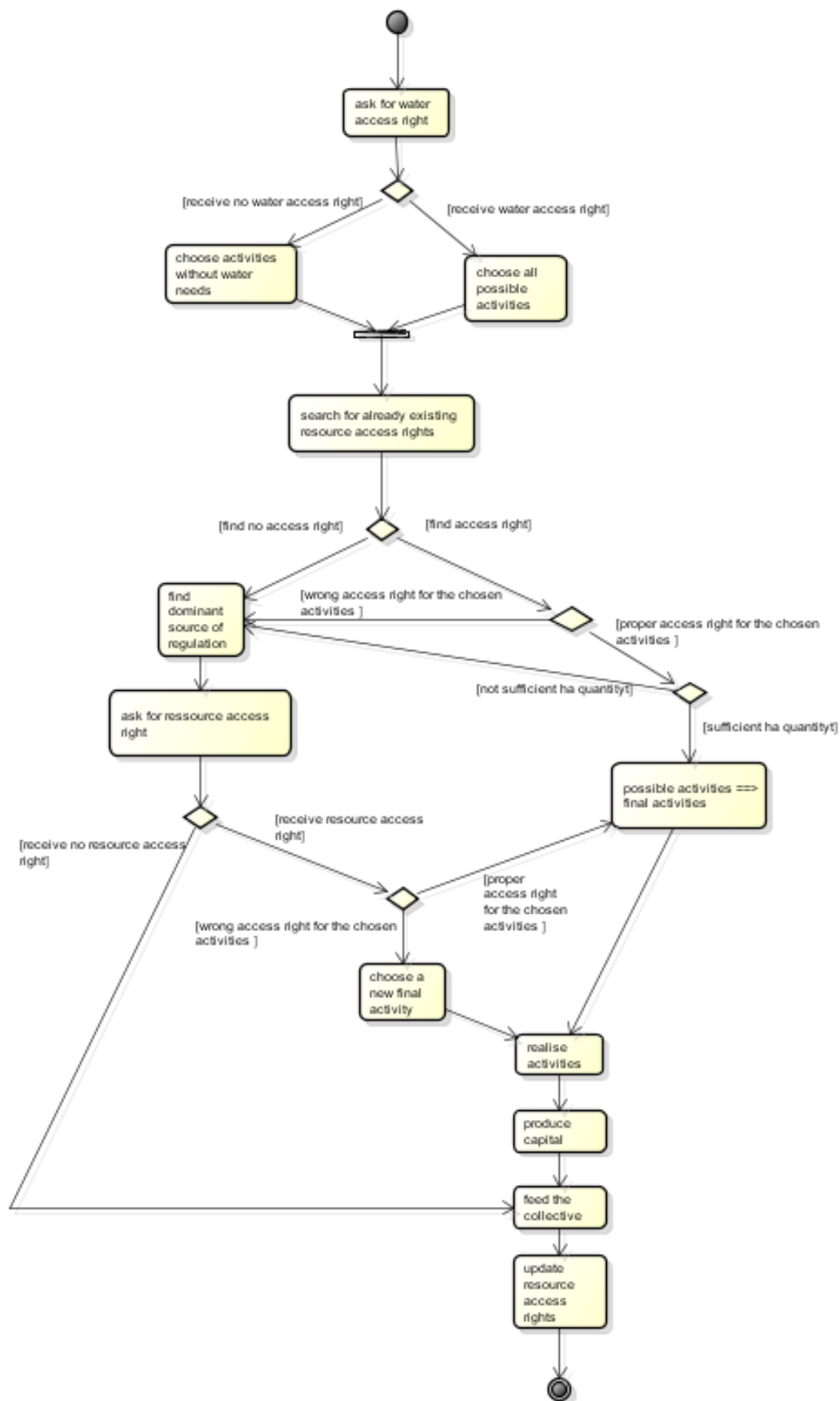


Figure 7: diagram activity of a user agent for the step rainy season

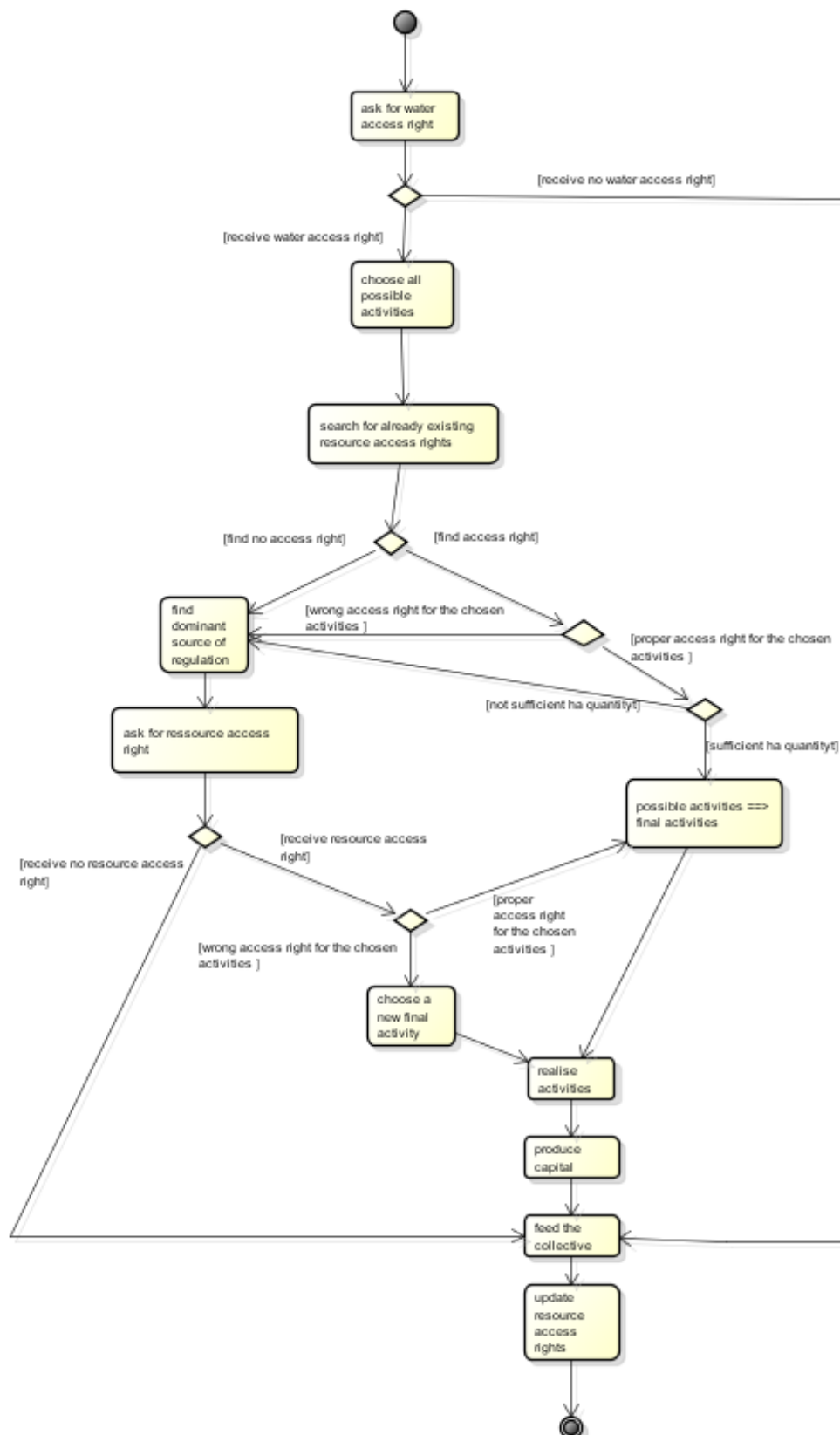


Figure 8: diagram activity of a user agent for the step dry season

Table 5: details of a user-regulator different logics of action according to the objective he prioritizes

| Choice of logic of action | Decide on a renting Price | Estimate an optimal quantity of land to allocate | Select a user from the otherUserRequests | |
|---------------------------|--|---|--|--|
| #social | Defined by the user attribute “socialRentingPrice” | Adjusts the users wishes in their requests to the number of hectares available (if the number of hectares requested by a user is lower than the total hectares available, the user-regulator will follow the user wishes, if not, he will give him the maximum of hectares still available) | Selects a user from a social ranking of the other user requests, prioritizing in the first part the ones with no (or few) resource access rights | |
| #economic | The renting price is calculated by the adding of the price/ha of the initial land right (that the user-regulator first received) with an individual interest rate known through the attribute “interestRate” | | Selects a user from a wealth ranking of the other user requests prioritizing in the first part the ones with a high amount of capital | |
| #enviroConserv | The renting price is equal to the price/ha of the initial land right (that the user-regulator first received) | | Selects randomly a user from the other user requests | |
| #enviroResto | | | | |

When a user-regulator agent decides to give a resource access right to another user, the access right is constituted of the same elements as for the other regulators, but the access right is on his own land plot(s), and the duration is only for one step (a seasonal access right). All the land rights distributed by a user-regulator to other users are collect through his attribute "accessRightDeliveredToUsers".

d. Dynamics of the agent-based model

Agro-ecological dynamics

Natural resource replenishment is linked to the annual rainfall, which is based on the Sahelian concepts of high variability and uncertainty regarding natural resources evolution and availability. In addition to the nature of the environment, the quality (good, medium or bad) of the rainfall has an impact on the environmental state of fertility, fodder, and NTFP on each land plot.

At the beginning of each rainy season, the agent-based model randomly chooses the quality of the rainfall (defining the value of its class attribute rainfallLevel: #good #medium #bad) with a respective

probability of 1/6 for the good rainfall, 1/3 for the medium rainfall and ½ for the bad rainfall. According to the quality of this rainfall, the number of land plots for which the natural resource are totally (highRate attribute) or partially (mediumRate: 50%, lowRate: 25%, or zeroRate: 0% of replenishment) replenished will vary (see Table 6). The rate of replenishment is based on the initial quantity of natural resources which differ according to the land type of the land plot (attribute lowlandSoilPerHaInit”, “degradedSoilPerHaInit” or “sandySoilperHaInit).

For example, if the rainy season is a good annual rainfall, the agent-based model will randomly select:

- numberOfHighRateGoodRainfallLevel land plots for which, according to their land type, the quantity of each natural resource (fertility, fodder, NTFP) will be recovered with a high rate of 100% of their initial value;
- numberOfMediumRateGoodRainfallLevel land plots for which, according to their land type, the quantity of each natural resource will be recovered with a medium rate of 50% of their initial value;
- numberOfLowRateGoodRainfallLevel land plots for which, according to their land type, the quantity of each natural resource will be recovered with a low rate of 25% of their initial value;
- numberOfZeroRateGoodRainfallLevel land plots for which the quantity of each natural resource will not be recovered.

Table 6: Attributes for the number of land plots served by each level of rainfall according to the quality of the annual rainfall

| | Number of land plots with a high rate of replenishment | Number of land plots with a medium rate of replenishment | Number of land plots with a low rate of replenishment | Number of land plots with a zero rate of replenishment |
|---|--|--|---|--|
| On a good annual rainfall (one in six chance) | numberOfHighRateGoodRainfallLevel | numberOfMediumRateGoodRainfallLevel | numberOfLowRateGoodRainfallLevel | numberOfZeroRateGoodRainfallLevel |
| On a medium annual rainfall (one in three chance) | numberOfHighRateMediumRainfallLevel | numberOfMediumRateMediumRainfallLevel | numberOfLowRateMediumRainfallLevel | numberOfZeroRateMediumRainfallLevel |
| On a bad annual rainfall (one in two chance) | numberOfHighRateBadRainfallLevel | numberOfMediumRateBadRainfallLevel | numberOfLowRateBadRainfallLevel | numberOfZeroRateBadRainfallLevel |

Land dynamics

Each regulator agent manages a more or less wide territory, on which he distributes at each season resource access rights. During the step, each time a regulator give a resource access right to a user on a certain plot, for a certain surface (ha) and a certain duration, these surface is subtracted from the value of the attribute “available Hectares” of the concerned land plot and the concerned land regulator for all the duration of the resource access right. For example, if a user receives from the state agent a right to use on 10 hectares for 8 seasons at a spatial scale of 50 hectares for the land plot area, the attribute “availableHaState” takes the value $50 - 10 = 40$ hectares for the next 8 step. At the end of the 8th step, the 10 hectares are re-injected on the value of the attribute availableHaState of the land plot, and therefore made available again for the users for future requests.

Note here that this dynamic does not apply to user-regulator agents because they necessarily distribute a seasonal resource access rights which lasts only one step. They indeed decide at each beginning of step if they are going to exploit by themselves their land plot(s), or if they will partially or entirely make these surfaces available to the other user requests. The surfaces exploit through free lend or rent by other users are therefore re-injected to the user-regulators land capital at each end of step.

During the simulation, according to the sources of land regulation the modeler decides or not to introduce, the mobilization of these sources of regulation by the users will potentially evolve, and this will impact the evolution of the number of available hectares of each land regulation sources on the land plots. This dynamic represents in the agent-based model the overlap of land regulation sources. It develops the fact that several users can ask for an access right to the same space and for the same resource, according to the source of regulation they choose to mobilize. We will potentially find in the agent-based model four user agents trying to exploit the resources of the same surface on the same land plot, given for one by a land chief agent, for another by a local community agent, for a third by a user-regulator and for the last one by the state agent.

The agent-based model voluntary does not go beyond this problematic statement. It does not choose if and if so which land regulation source is more important (i.e. which user get to exploit the resources in the end), it is only highlight the overlap, and let the model randomly decides itself.

3. INITIALISATION OF THE ABM SIMULATIONS

i. Calibration of the simulation

The environment of the agent-based model is composed of 900 land plots. This proportion is fixed (1) in order to authorize the representation of different general spatial scales (according to the value of the land plot area) and (2) in order to control the number of land plot of each land type created, through the class model attributes: `numberOfLowLandSoil`, `numberOfDegradedSoil` and `numberOfSandySoil`. For my set of simulation, the proportion of each land type is equal (300 of each). The lowlands (blue), the intermediary sandy areas (cream) and the degraded lands (pink) are randomly distributed within the environment (see Figure 9), in order to highlight the variability of this Sahelian environment.

Each land plot contains a set of attributes on natural resources: fertility, fodder, and non-timber forest products (NTFP). The initial quantity of each resource is equal to 5 units per hectare if the land plot is a lowland soil, 2 units per hectare if it is a sandy soil and 1 unit per hectare if it is a degraded soil. The total quantity of each natural resource is calculated with regards to the area of the land plot.



Figure 9: Environment of the agent-based model

In this regard, three choices of initialization exist in the agent-based model, linked to the three possible values of land plot area (see Table 7). If the modeler chooses the INIT A, all the land plot of the environment will have their attribute `landPlotArea` equal to 1, if he chooses INIT B equal to 50 and if he chooses INIT C equal to 1000. It is not possible during the same simulation to have at the same time a land plot area equal to 1 and another equal to 1000. The idea is that the general landscape represents different

Table 7: three choices of initialization for three space scale representations

| Initialization | Land plot Area | Total Area of the environment | Nature of the landscape |
|----------------|----------------|-----------------------------------|----------------------------|
| INIT A | 1 hectare | 900 ha / 9 km ² | a village territory |
| INIT B | 50 hectares | 45 000 ha / 450 km ² | a set of local communities |
| INIT C | 1000 hectares | 900 000 ha / 9000 km ² | a region |

Consequently to these three possible choices of Initialization, the number of social and passive entities will also vary (see Table 8).

Table 8: calibration of the three initializations

| Initialization | Land plot Area | Number of State agent | Number of Local Community agent | Number of Land Chief agent | Number of User agent |
|----------------|----------------|-----------------------|---------------------------------|----------------------------|-----------------------------------|
| INIT A | 1 ha | 1 | 1 | 5 | 200 (family level) |
| INIT B | 50 ha | 1 | 5 | 20 | 1000 (village level) |
| INIT C | 1000 ha | 1 | 20 | 56 | 1000 (group of villages level) |

For the particular case of user agents, the equivalence between the space scales is linked to the fact that a user agent does not represent the same social entity at the three scales. The coherence is founded through the combination of the number of user agent created and the value of their attributes collectiveMembers and capital (see Figure 10).

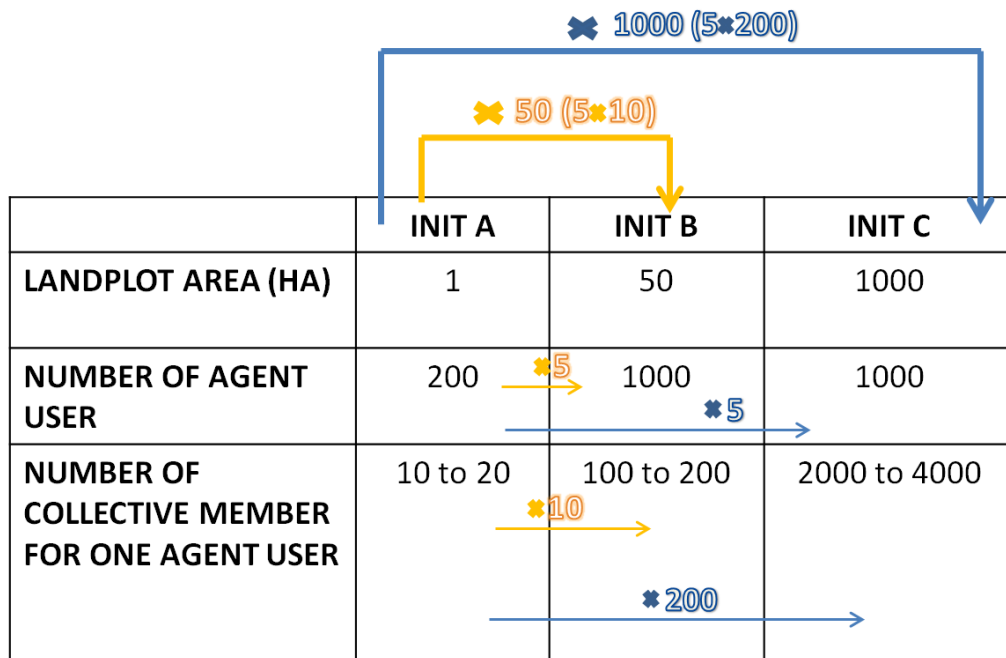


Figure 10: equivalence of user agent number and attributes according to the choice of space scale

For the INIT A, user agents represent rural families, evolving on the general landscape of a village territory. Every user agent represents a more or less important family: the size of the family known with the attribute “collective members” is randomly initially defined by the agent-based model between a minFamilyMember and a maxFamilyMember attributes, varying from ten to twenty from one user agent to another. This defines consequently the food self-sufficiency threshold to reach for each family. Each user agent has also an attribute “capital”, which symbolizes the gathering of the physical capital, the human capital and the financial capital. The initial value of this capital is randomly defined according to the size of the family: for one user agent, each member of the family has an individual capital value chosen randomly among the values: # (1 5 10 20 50 100 500), and the final initial capital of the user agent is the sum of this various individual capital. The idea is to represent the diversity of production means that different Sahelian rural families can possess.

For the INIT B, user agents represent this time villages (as grouping of several families) evolving on a global landscape equivalent to a set of local communities. For the INIT C, user agents represent groups of several villages, evolving on a global landscape similar to a region. The equivalences in terms of number of user agents created (and of the collective members of each user agent) have been estimated regarding the change of land plot area from one initialization to another. The initialization of the attribute capital for the init B and C follows the same principle as for the init A.

The perception of land tenure security is specific to each user agent, and defined in the agent-based model through the values of the attributes “perceptionOfAccessRightDuration” and

“perceptionOfResourceRegulation”. The “perception of access right duration” is varying from 2 up to 10, the value is randomly initially fixed. As a reminder, for any right to invest in the use, if the duration of the access right delivered by the regulator goes below this perception of access right duration, the user will consider the act of investment too risky, and will opt for extensive activities.

The “perception of resources and their regulation(s)” is varying from 1 up to 30 for the INIT A, and from 1 up to 15 for the INIT B and C, and the value is also randomly initially fixed. This reflects the idea that the level of information that land actors possess about land regulations strongly vary from one user to another, some of them have a perception that only extend on their village, or their land territory whereas others will know what is happening in the all country (i.e. the total environment of the agent-based model) (see Figure 11). As a reminder, user agents mobilize this attribute when they look for available land plots which possess the resources they need, it defines the extent of the land plots they consider. The same attribute is used when user agents look for water sources and send water requests to the water regulators of the water sources they found.

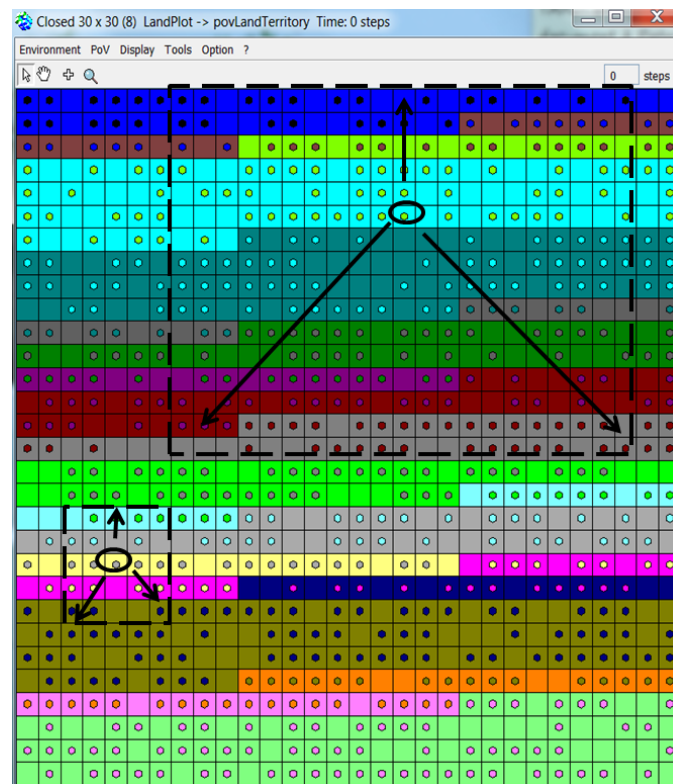


Figure 11: Illustration of the diversity of the levels of perception, reflecting the level of information of the agent user. Level of perception of the lower left user: 2; level of perception of the upper right user: 10. The environment represents the different land territories of the land chief agents

At last, according to the amount of capital they possess, the characteristics of their land access rights, the fact that they can access water or not, user agents can have up to 6 possible choices of rural activity, more or less intensive (see Table 9).

Table 9: calibration of the values of the attributes of the activity passive entities according to the nature of the activity

| Activity | Initial Investment (/ha) | Resource consumption (/ha) | Water consumption (/ha) | Productivity rate | Irrigation rate |
|---------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------|--------------------------|------------------------|
| Intensive farming | 50 | 500 | 500 | 10 | 5 |
| Extensive farming | 2 | 20 | | 2 | |
| Intensive breeding | 120 | 1000 | 1000 | 10 | |
| Extensive breeding | 6 | 60 | 60 | 2 | |
| Intensive NTFP harvesting | 20 | 250 | 250 | 10 | 5 |
| Extensive NTFP harvesting | 1 | 10 | | 2 | |

The environment of the model is divided for each type of regulator agent (Land Chief, Local Community and State) in more or less territories according to the type of agent and the choice of Initialization (see Figure 12). For land chief agents, it represents their respective land territories, and for local community agents the decentralized territories they are mandated to manage. For the state agent (only one agent of this type created no matter the choice of Initialization), he always manages the whole territory (known as the state domain).

According to the choice of initialization made, the number of each type of water source (and the number of water regulator agents in consequence), as well as the quantity of water they contain will also not be the same:

| Initializ ation | Number of ponds | | | Number of wells | Number of drillings |
|--------------------|-------------------------------------|-----------------|-----------------|---|---|
| | Good rainfall | Medium rainfall | Bad rainfall | | |
| INIT A | 6 | 3 | 2 | 8 | 1 |
| | Water initial quantity : 100 units | | | Water initial quantity : 200 units | Water initial quantity : 50 000 units |
| INIT B | 30 | 15 | 10 | 100 | 30 |
| | Water initial quantity : 1000 units | | | Water initial quantity : 10 000 units | Water initial quantity : 50 000 units |
| INIT C | X | | | X | 260 |
| | | | | | Water initial quantity : 200 000 units |

These water sources are initially (for the well and the drillings) of at each beginning of rainy season (for the ponds) randomly localized in the environment (see Figure 13).

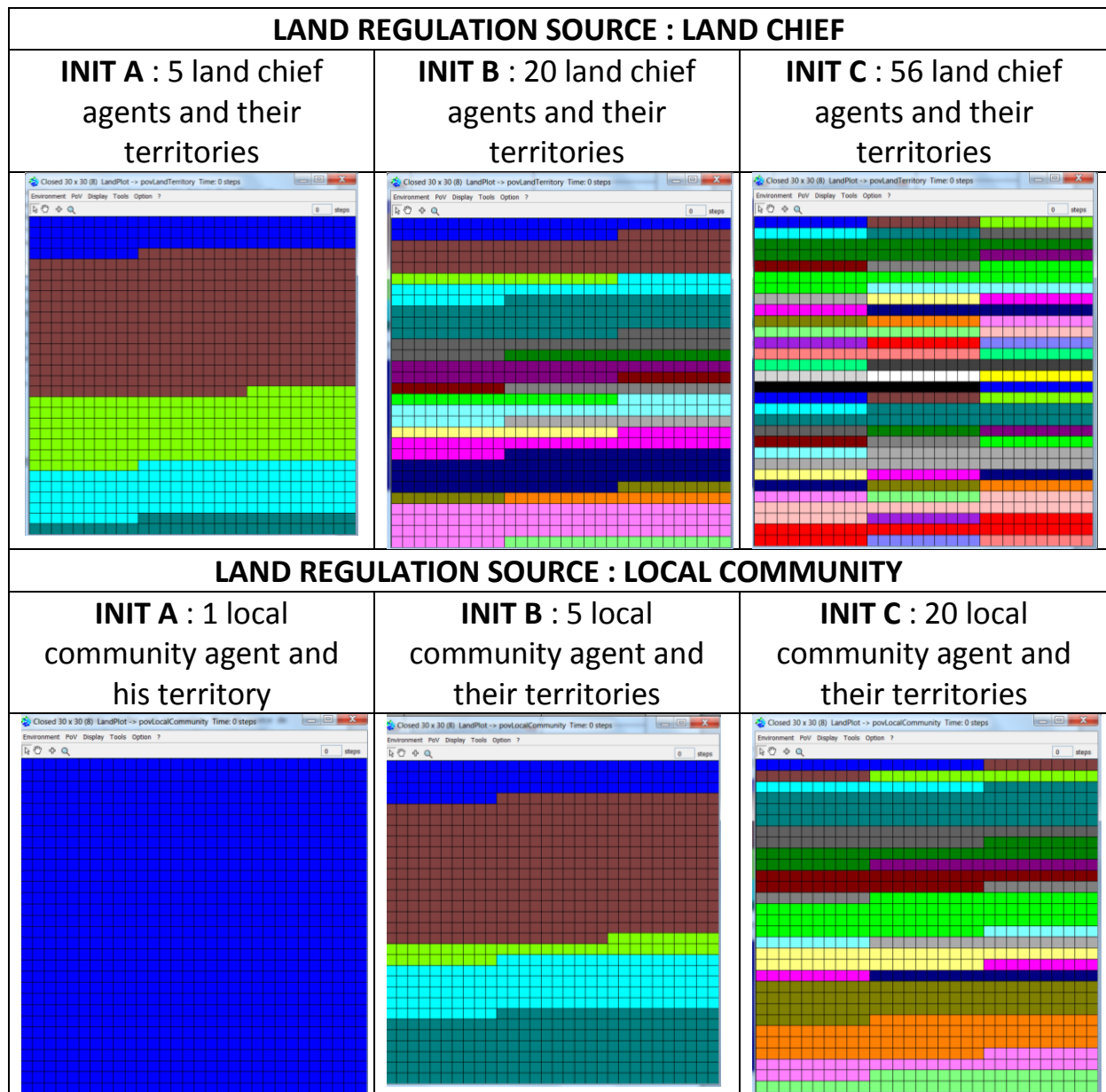


Figure 12: configuration of the different regulator agents territories according to the choice of space scale

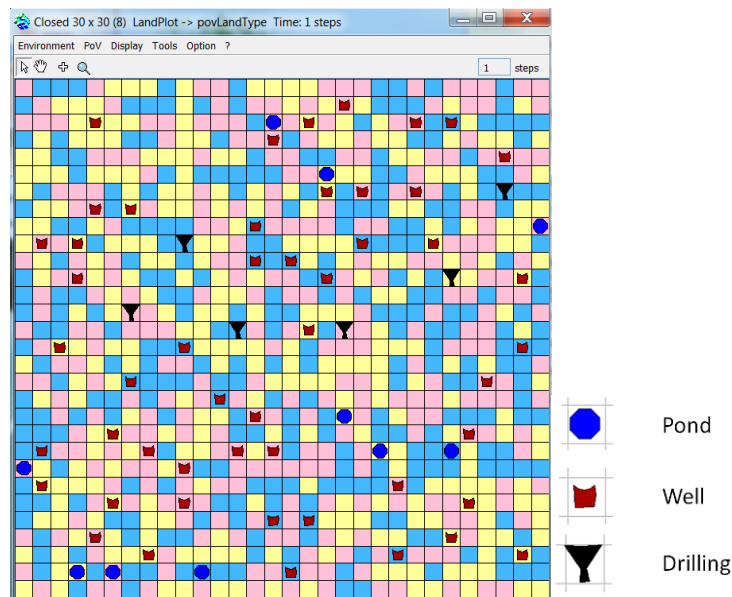


Figure 13: random initial distribution of the water sources passive entities within the environment (INIT B)

Land regulator agents (see Table 10), water regulator agents (see Table 11) and user-regulators ((see Table 12) allocate at each growing season access rights on their territory, water source or land plot(s). The different components of an access right are fixed according to the choice of logic of action.

Table 10: calibration of the different parameters composing a resource access right according to the logic of action of the land regulator agent

| Detail of a resource access right: | #social | #economic | #enviroConserv | #enviroResto |
|--|---|--|---|--|
| A nature of resource access right | Randomly chooses between #rightToUse and #rightToInvestInTheUse | | | |
| A surface, in hectares, localized on one or several land plot(s) | SocialOptimalSize = (regulator territory size) / (number of users requests) | Follows the users wishes in their requests | EnviroOptimalSize = (Number of land plots with low fertility) / (Number of user of the regulator community) | EnviroOptimalSize = (Number of land plots with high fertility) / (Number of user of the regulator community) |
| A period | Randomly chooses between: #drySeason, #rainySeason and #annual | | | |
| A duration | Randomly selects between #(1 1 1 1 2 2 2 2 6 6 10 20 30 100) | | Randomly selects between #(1 1 1 1 2 2 2 2 6 6) | |
| A access price | rentingPriceCommunity = 0. | rentingPriceCommunity = Randomly selects between: #(5 10 20 50 100) | rentingPriceCommunity = Randomly selects between: #(0 5 10) | |

Table 11: calibration of the different parameters composing a water access right according to the logic of action of the water regulator agent

| Detail of a resource access right: | #social | #economic | #enviro |
|------------------------------------|---|---|---|
| Quantity of water | (water source total quantity of water) / (number of users requests) | Authorize the quantity users request while the water source quantity >0 | Authorize the quantity the users request while the water source quantity is higher than one third of the initial water source quantity (in relation with the water source nature) |
| Water Price | waterPrice = 0 | waterPrice = Randomly selects between: #(0.05 0.1 0.5 1) | waterPrice = Randomly selects between: #(0 0.05 0.1) |
| Access Duration | waterRightDuration = 1 (only seasonal water access rights) | | |

Table 12: calibration of the different parameters composing a resource access right according to the logic of action of the user-regulator agent

| Detail of a resource access right: | #social | #economic | #enviro Conserv | #enviro Resto |
|--|---|--|---|---------------|
| A nature of resource access right | Randomly chooses between #rightToUse and #rightToInvestInTheUse | | | |
| A surface, in hectares, localized on one or several land plot(s) | Adjusts the users wishes in their requests to the number of hectares available (if the number of hectares requested by a user is lower than the total hectares available, the user-regulator will follow the user wishes, if not, he will give him the maximum of hectares still available) | | | |
| A period | Give the one of the user-regulator access right | | | |
| A duration | RentingDuration = 1 (only seasonal land access rights) | | | |
| A access price | socialRentingPrice = 0 | The renting price is equal to the price/ha of the initial land right (that the user-regulator first received) + (price/ha interestRate). interestRate = Randomly select between: #(0 5 10 20 50) | The renting price is equal to the price/ha of the initial land right (that the user-regulator first received) | |

At the beginning of each rainy season, the agent-based model randomly chooses the quality of the rainfall. According to this quality, the number of land plots for which the natural resource are totally (highRate attribute) or partially (mediumRate: 50%, lowRate: 25%, or zeroRate: 0% of replenishment) replenished will vary (see Table 13 and Figure 14).

Table 13: calibration of the rainfall dynamic according to its annual quality

| Number of land plots associated to each level rate according to the quality of the rainfall | High Rate (100% of replenishment) | Medium Rate (50% of replenishment) | Low Rate (25% of replenishment) | Zero Rate (0% of replenishment) |
|---|-----------------------------------|------------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| For a good annual rainfall (one in six chance) | 300 | 275 | 275 | 50 |
| For a medium annual rainfall (one in three chance) | 75 | 350 | 300 | 175 |
| For a bad annual rainfall (one in two chance) | 0 | 150 | 450 | 300 |

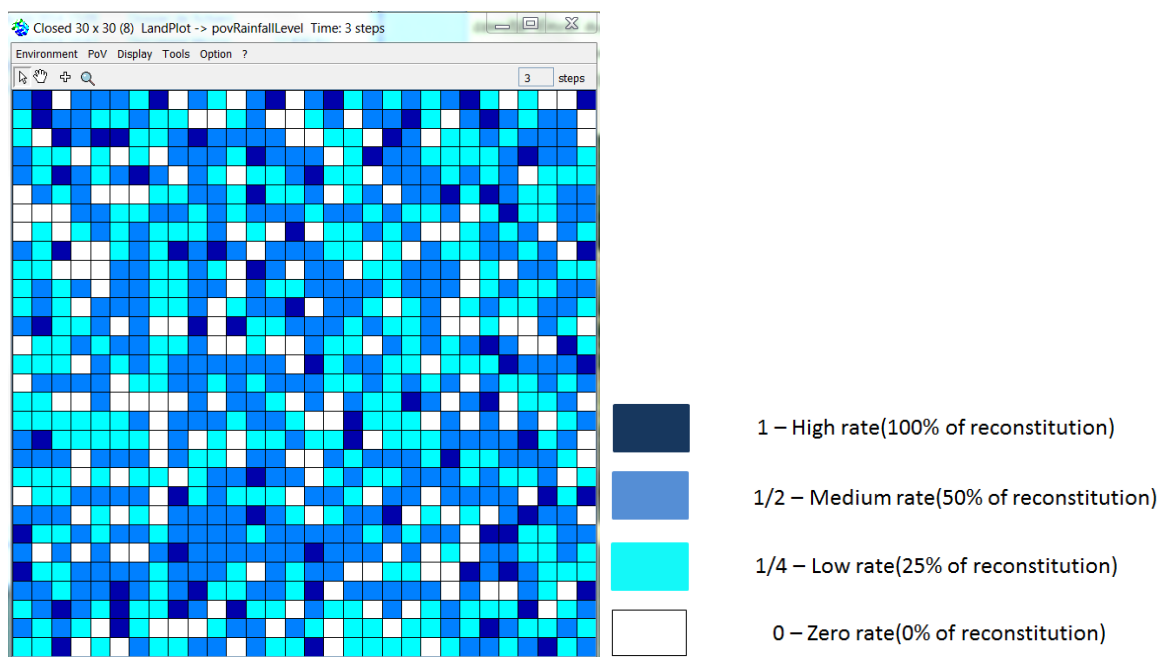


Figure 14: illustration of the rainfall dynamic high spatial variability on a good annual rainfall

ii. Synopsis of the simulation

At the initialization (no matter the choice of INIT), all the environment of the model is divided in land territories managed by default by different land chiefs (representing the historical context, the weight of tradition). User agents are created and randomly localized in this environment (and thus attached to a specific land territory and a local community). Water regulators and their water sources are also created and randomly localized in the environment.

Each land chief agent chooses a certain logic of action, and allocates consequently resource access rights to the users of his land territory. This will constitute their initial “land capital”. The other regulator agents (local communities and state) are also created, and linked to a set of land plots (or to the all environment for the state agent), but they are not active for now as land regulators, they do not exist in the user agents perception.

During the simulation, it is possible for the modeler to introduce up to all the land regulation sources, and by doing so activate the State, and/or the local community and/or the user-regulator agents as land regulators. To do so, as explained above, the modeler can modify the value of one or several of the attributes: “Land Chief update”, “Local Community update”, “State update” or “Other User update” of the land plots, according to the source of regulation considered for the scenario. These “update” attributes are by default equal to zero, and it is by modifying the value of these attributes that the modeler can introduce new sources of land regulation in the simulation. It will potentially change de nature of the prevalent source of land regulation on the concerned land plot, and its mobilization by the user agents in consequence.

The time step in the agent-based model is the growing season. A simulation consists of a succession of rainy and dry seasons (one year corresponds thus to two steps) which lasts the number of years considered necessary for the simulated scenario. Both steps (rainy and dry season) take place globally similarly (see Figure 15 and 16). The main difference is that in the beginning of the rainy season, we observe, linked to the rainfall, the reconstitution of natural resources and the formation of ponds whereas at the beginning of dry season, there is no natural resources reconstitution and the ponds disappear.

Besides these ecological dynamics, users begin both steps by asking for water access rights to the water regulators of the various water sources. According to the positive or negative response of the water regulators, users make a first choice of activity. Another specificity of the dry season is that a user with no water access will not be able to realize rural activities at all (any activity necessarily requires water in this period of the year). These choices of activities can lead to a need of natural resources that users ask to the various land regulators. According to what they finally obtained by the land regulators who follow their own logics of action, users will maintain or modify their initial choice of activity, and eventually exploit and consume the various resources of the environment, in order to produce and improve their capital.

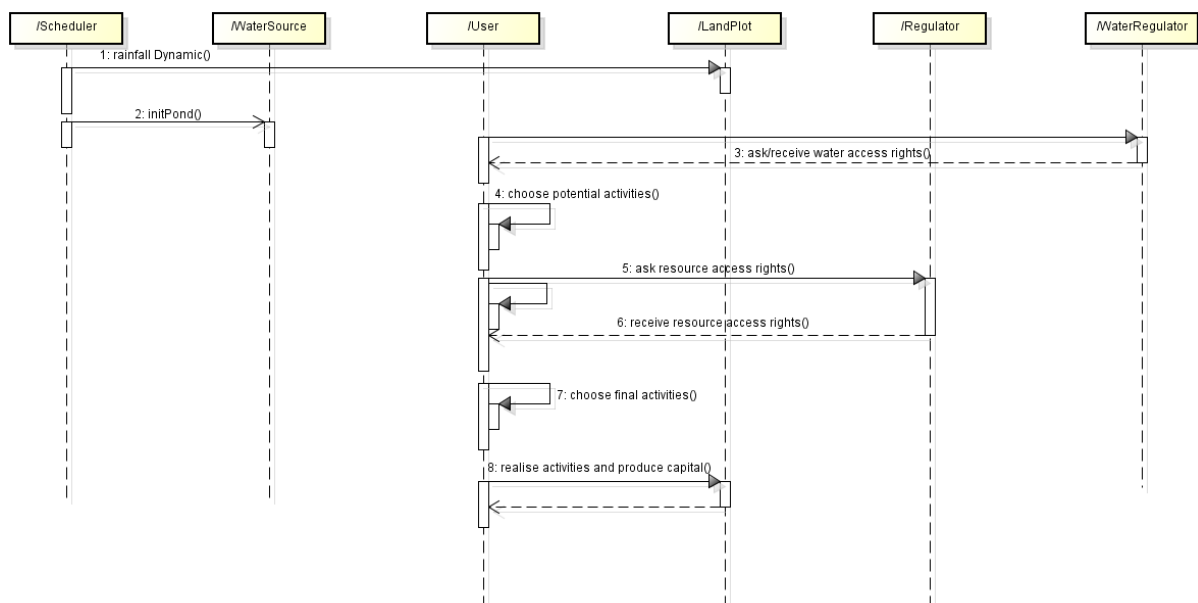


Figure 15: sequence diagram of the rainy season step

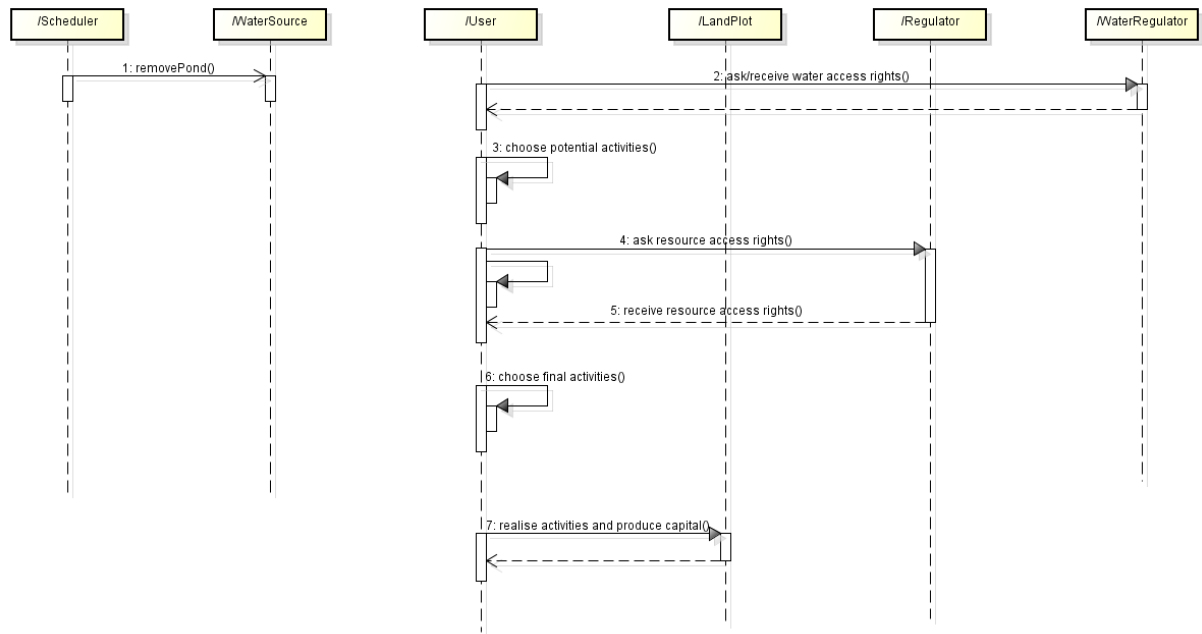


Figure 16: sequence diagram of the dry season step

iii. Indicators

On this basis, according to the choices of scenario implemented, simulations are conducted, with each agent representing one of the various types of actor, developing his logic of action according to his perception and drawing from several overlapping land and natural resource regulation sources at the same time.

The effects resulting from the simulation of land policy options are subsequently deducted from the agents' behaviors (during and at the end of the successive simulations) rather than predetermined by a causal chain of effects. These effects are thus the result of the pooling of actors' various logics of action, which are motivated by their various representations. During and at the end of the simulation, several indicators can allow the operator to explore different aspects of change between the initial situation and the final situation, at the general level of the agent-based model (see Table 14) and at a "local" level of each spatial, social and passive entity (see Table 15).

Table 14: choice of indicators to follow at the general level of the agent-based model

| Thematic of the probes | Name of the Probe | Definition of the Probe |
|---|-----------------------------------|--|
| Natural resources dynamics (see Figure 17) | badRainfallLevel | Record the number of bad annual rainfall during the simulation (i.e. step after step) |
| | mediumRainfallLevel | Record the number of medium annual rainfall during the simulation |
| | goodRainfallLevel | Record the number of good annual rainfall during the simulation |
| | landPlotFertility | Follow the evolution of the general quantity of fertility within all the environment during the simulation |
| | landPlotFodder | Follow the evolution of the general quantity of fodder within the all environment during the simulation |
| | landPlotNTFP | Follow the evolution of the general quantity of NTFP within the all environment during the simulation |
| | drillingWaterQuantity | Follow the evolution of the general quantity of water of all the drillings during the simulation |
| | wellWaterQuantity | Follow the evolution of the general quantity of water of all the wells all the environment during the simulation |
| Land regulations dynamics (see Figure 21 and 22) | landChiefLevel | Record the number of activities realized by user agents through resource access rights delivered by land chief agents |
| | landPlotlandChiefAvailableHa | Follow the evolution of the general number of available hectares to allocate for the land chief agents |
| | landPlotlandChiefRegulation | Follow the evolution of the general number of land plots with users exploiting on it under land chief regulations |
| | localCommunityLevel | Record the number of activities realized by user agents through resource access rights delivered by local communities agents |
| | landPlotlocalCommunityAvailableHa | Follow the evolution of the general number of available hectares to allocate for the local community agents |
| | landPlotlocalCommunityRegulation | Follow the evolution of the general number of land plots with users exploiting on it under local community regulations |
| | stateLevel | Record the number of activities realized by user agents through resource access rights delivered by the state agent |

| | | |
|---|---------------------------------------|---|
| | landPlotStateAvailableHa | Follow the evolution of the general number of available hectares to allocate for the state agent |
| | landPlotStateRegulation | Follow the evolution of the general number of land plots with users exploiting on it under state regulations |
| | otherUserLevel | Record the number of activities realized by user agents through resource access rights delivered by user-regulator agents |
| | landPlotOtherUserRegulation | Follow the evolution of the general number of land plots with users exploiting on it under user-regulator regulations |
| | numberOfInterUserAccessRightDelivered | Record the number of resource access rights delivered by user-regulator agents during the simulation |
| | noneRegulationLevel | Record the number of land plots with no land regulation source management during the simulation (<i>No land regulator is allocating any access right on these land plots</i>) |
| | oneRegulationLevel | Record the number of land plots with one land regulation source management during the simulation (<i>One nature of land regulator is allocating access rights on these land plots</i>) |
| | twoRegulationLevel | Record the number of land plots with two overlapping land regulation sources management during the simulation (<i>Two natures of land regulator are allocating access rights at the same time on these land plots</i>) |
| | threeRegulationLevel | Record the number of land plots with three overlapping land regulation sources management during the simulation (<i>Three natures land regulator are allocating access rights at the same time on these land plots</i>) |
| User access rights and activities dynamics (see Figure 20) | userCapital | Follow the evolution of the general capital of all user agents during the simulation |
| | extensiveBreedingLevel | Record the number of users realizing extensive breeding during the simulation |
| | intensiveBreedingLevel | Record the number of users realizing intensive breeding during the simulation |
| | extensiveFarmingLevel | Record the number of users realizing extensive farming during the simulation |
| | intensiveFarmingLevel | Record the number of users realizing intensive farming during the simulation |
| | extensiveNTFPHarvestingLevel | Record the number of users realizing extensive NTFP Harvesting during the simulation |
| | intensiveNTFPHarvestingLevel | Record the number of users realizing intensive NTFP Harvesting during the simulation |

| | | |
|--|---|---|
| | numberOfLandPlotUsers | Record the number of land plots with user agents possessing access rights on it during the simulation |
| | numberOfUsersWithActivities | Record the number of users who realize activities during the simulation |
| | numberOfUsersWithResourceAccessRights | Record the number of users with resource access rights in their portfolio during the simulation |
| | numberOfUsersWithResourceAccessRequests | Record the number of users with resource access rights requests during the simulation |
| | numberOfUsersWithWaterAccessRights | Record the number of users with water access rights in their portfolio during the simulation |
| | numberOfUsersWithWaterAccessRequests | Record the number of users with water access rights requests during the simulation |

| LEGEND |
|--|
| Attributes for the calculation of the probe are associated to spatial entities |
| Attributes for the calculation of the probe are associated to social entities |
| Attributes for the calculation of the probe are associated to passive entities |
| The calculation of the probe is associated to attributes at the agent-based Cormas model level |

Table 15: choice of indicators to follow at the entities local level of the agent-based model

| Thematic of the probes | Name of the Probe | Definition of the Probe |
|------------------------|------------------------------|--|
| User agent | collectiveMembers | Inform the modeler of the number of members of each user agent (family, village or group of villages) |
| | foodSelfSufficiencyThreshold | Inform the modeler of the food self-sufficiency threshold of each user agent according to the number of its collective |
| | logicUserRegulator | Inform the modeler of the logic of action follow by each potential user-regulator |
| | numberOfAccessRights | Inform the modeler of the number of resource access right each user agent possesses during the simulation (i.e. step after step) |
| | numberOfAccessRightRequests | Inform the modeler of the number of resource access right each user agent requests |

| | | |
|-----------------------|---------------------------------------|---|
| | | during the simulation |
| | numberOfAccessRightAvailableToShare | Inform the modeler of the number of access right to his land plot each user agent makes available to other user agents during the simulation |
| | numberOfOtherUserAccessRightDelivered | Inform the modeler of the number of access right to his land plot each user agent delivers to other user agents during the simulation |
| | numberOfOtherUserRequests | Inform the modeler of the number of access right requests each user-regulator agent receives from other user agents during the simulation |
| | numberOfWaterAccessRights | Inform the modeler of the number of water access right each user agent possesses during the simulation |
| | numberOfWaterAccessRequests | Inform the modeler of the number of water access right each user agent requests during the simulation |
| LandChief agent | Logic (see Figure 18) | Inform the modeler of the logic of action follow by each land chief agent |
| | numberOfUsersDeliveredLandChief | Inform the modeler of the number of resource access right each land chief agent delivers to user agents during the simulation |
| | numberOfUsersRequestsLandChief | Inform the modeler of the number of resource access right requests each land chief agent receives from user agents during the simulation |
| LocalCommunity agent | Logic (see Figure 18) | Inform the modeler of the logic of action follow by each local community agent |
| | numberOfUsersDeliveredLocalCommunity | Inform the modeler of the number of resource access right each local community agent delivers to user agents during the simulation |
| | numberOfUsersRequestsLocalCommunity | Inform the modeler of the number of resource access right requests each local community agent receives from user agents during the simulation |
| State agent | Logic (see Figure 18) | Inform the modeler of the logic of action follow by the state agent |
| | numberOfUsersDeliveredState | Inform the modeler of the number of resource access right the state agent delivers to user agents during the simulation |
| | numberOfUsersRequestsState | Inform the modeler of the number of resource access right requests the state agent receives from user agents during the simulation |
| Water regulator agent | Logic (see Figure 19) | Inform the modeler of the logic of action follow by each water regulator agent |
| | numberOfWaterAccessDelivered | Inform the modeler of the number of water access right each water regulator agent delivers to user agents during the simulation |
| | numberOfWaterAccessRequests | Inform the modeler of the number of water access right requests each water regulator agent receives from user agents during the simulation |
| Landplot | activitiesOnTheLandPlot | Inform the modeler of the number of ongoing activities on each land plot during the simulation |

| | | |
|-------------|--------------------|--|
| | usersOfTheLandPlot | Inform the modeler of the number of user agents with ongoing resource access right on each land plot during the simulation |
| | Fertility | Inform the modeler of the evolution of fertility quantity on each land plot during the simulation |
| | Fodder | Inform the modeler of the evolution of fodder quantity on each land plot during the simulation |
| | NTFP | Inform the modeler of the evolution of NTFP on each land plot during the simulation |
| WaterSource | waterQuantity | Inform the modeler of the evolution of water quantity on each water source during the simulation |

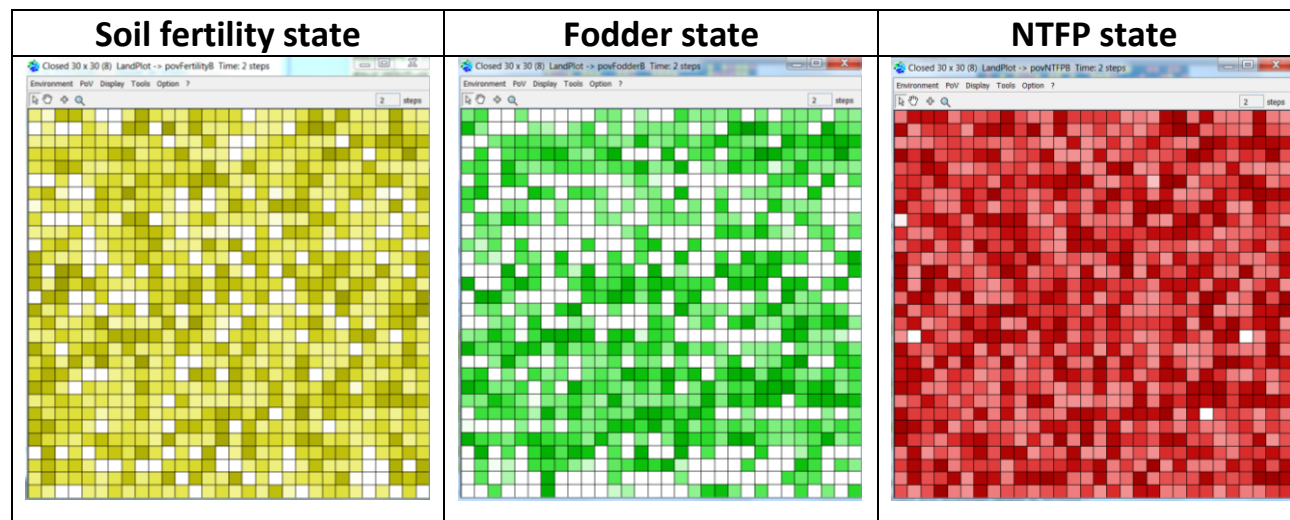


Figure 17: diversity of environmental state of natural resources according to the land type

Figure 18: illustration of land regulators diversity of logics of action for one simulation

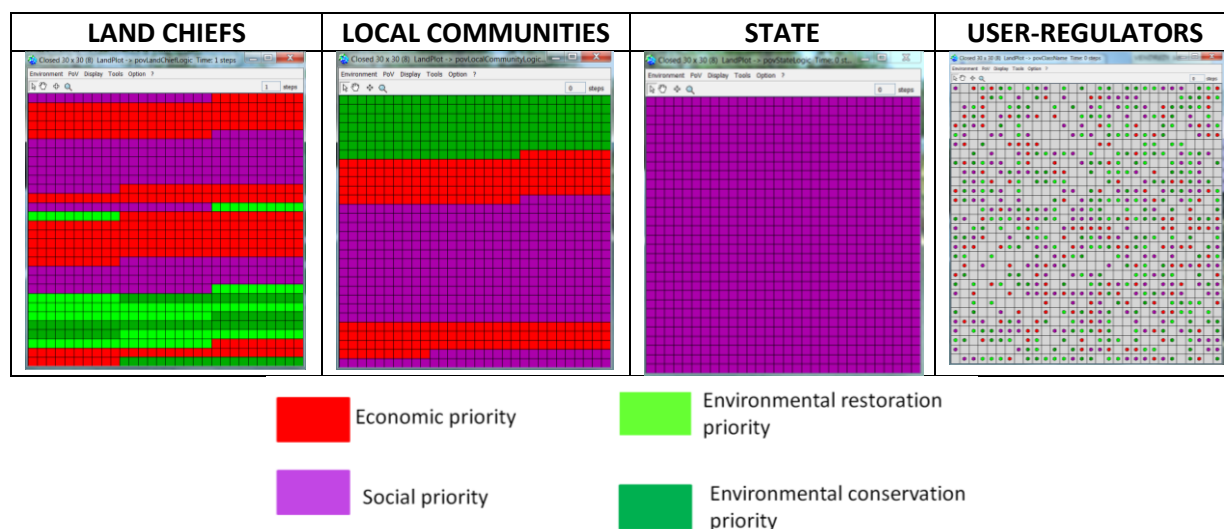
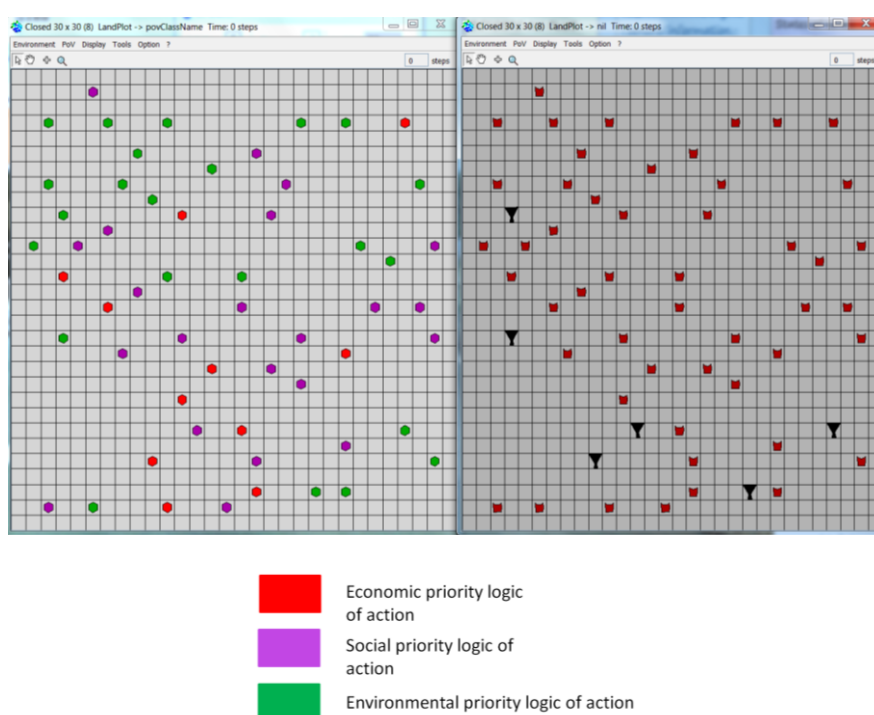


Figure 19: illustration of water regulators diversity of logics of action for one simulation



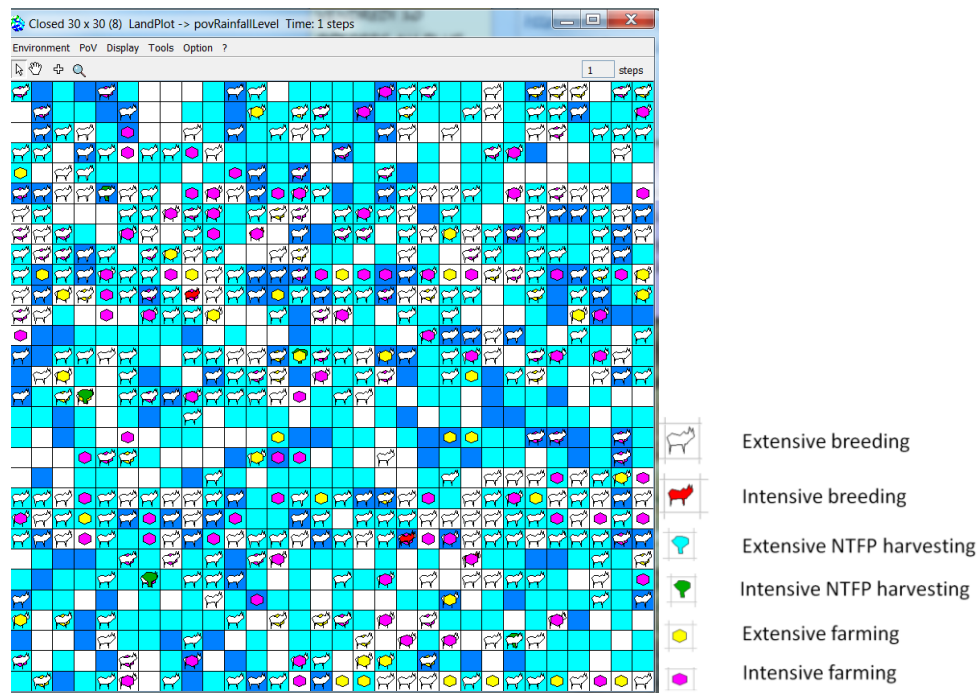


Figure 20: illustration of the plurality of user activities during a rainy season of a simulation

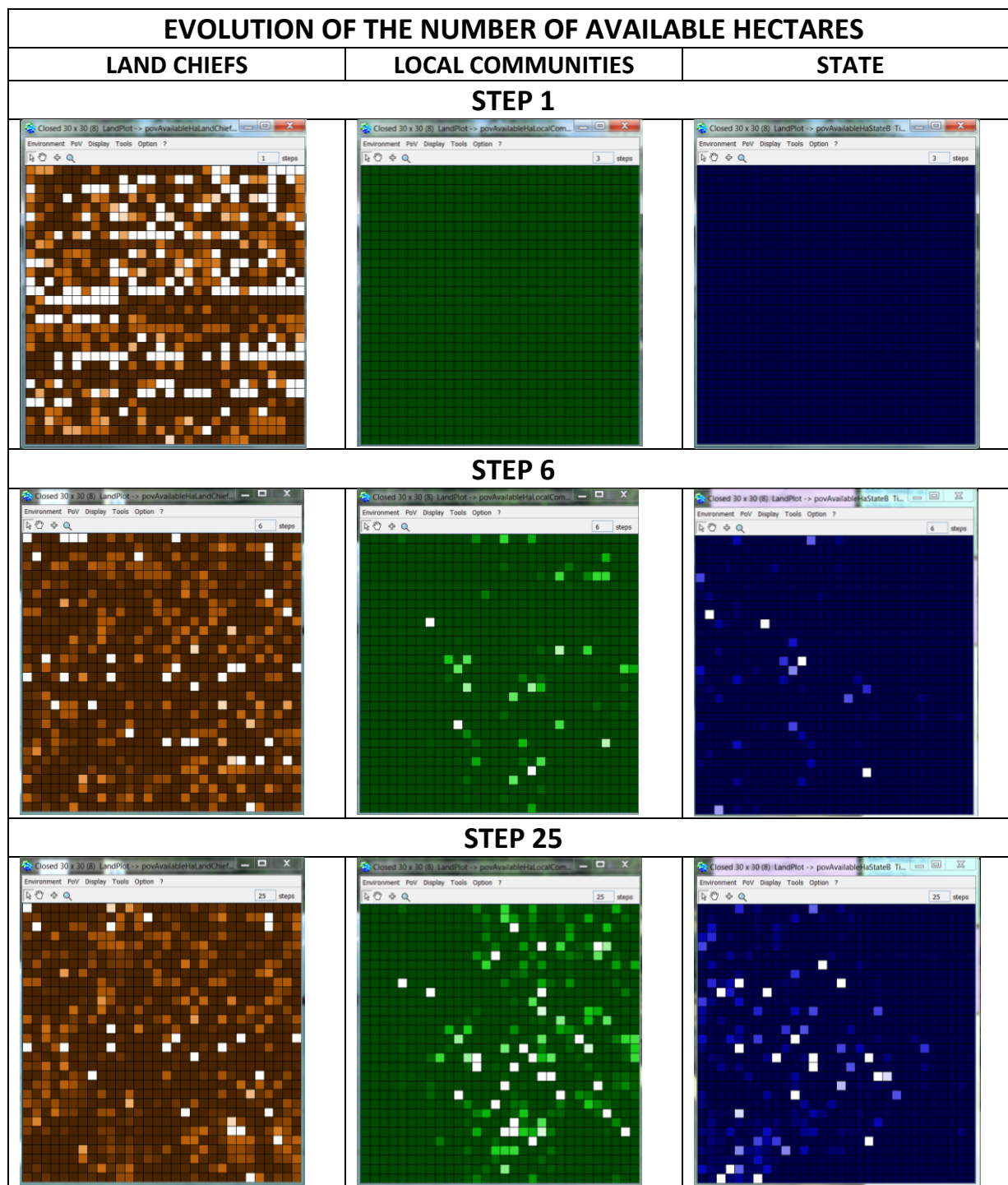


Figure 21 : land dynamics and evolution of the number of hectares available for each type of land regulator agent once new sources of regulation are introduced in the simulation

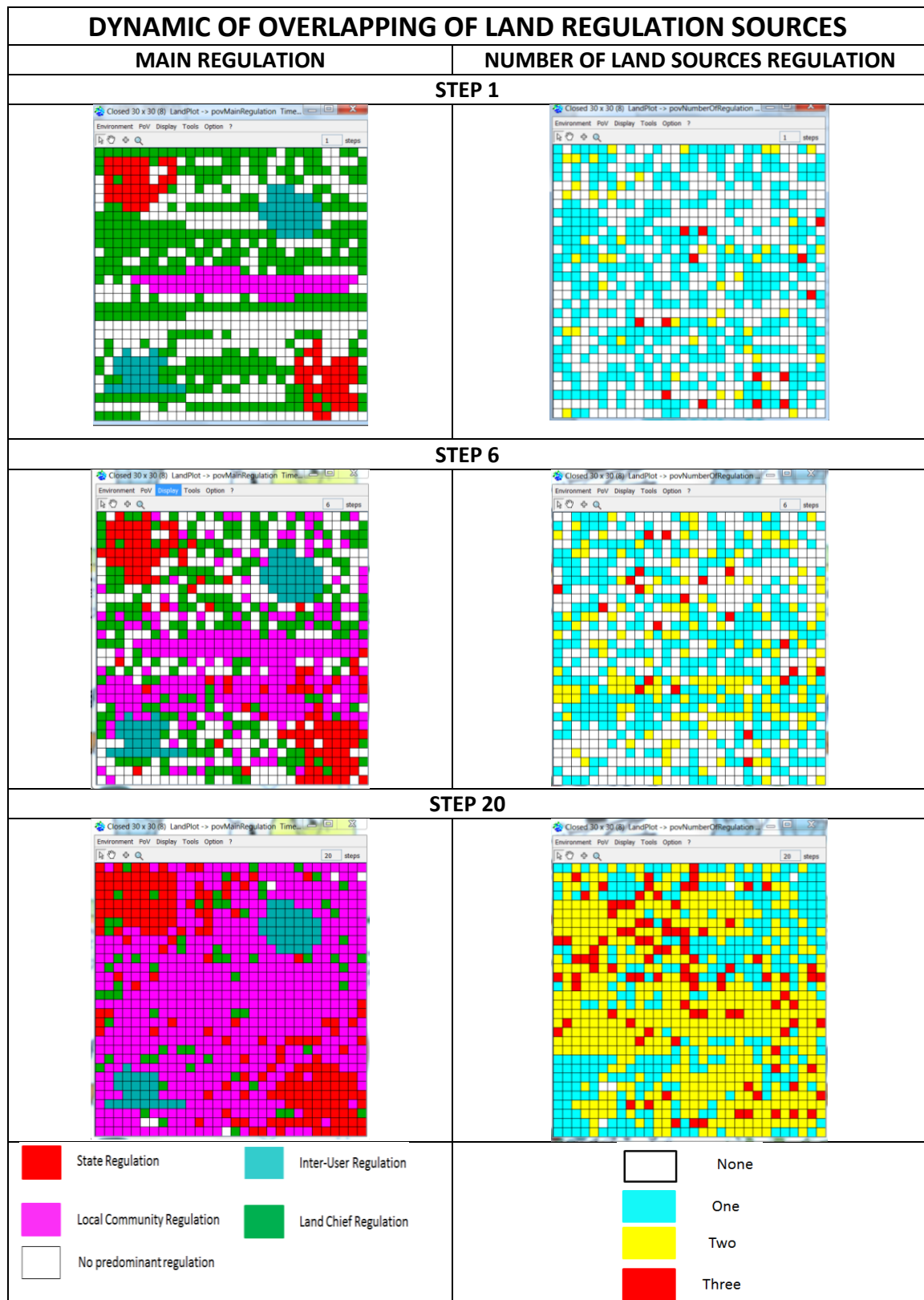


Figure 22: illustration of a pluralism of land regulation of the land plots of the agent-based model environment

4. MODEL VERIFICATION AND VALIDATION

Verification of a model means “getting the model right” (Parker et al. 2003). Model validation is “getting the right model” (Parker et al. 2003), meaning that the correct abstract model was chosen and accurately represents real-world trends and patterns. Verification and validation of ABMs have been the focus of much attention (Robinson et al. 2007, Filatova et al. 2013).

The agent-based model was verified using complementary verification procedures: a code review by another agent-based modeler and a set of stress tests to monitor the behavior of the model in extreme situations. We also implemented unit tests for each sub-model that run parts of the model in a controlled way and then ran the model with very few agents in order to examine the results closely (e.g. according to the life history of each specific agent). The parametrization of the agent-based model as it stands is based on an indirect proportional calibration (abstract units, real ratios). We used our empirical data to run large numbers of calibrations with various model parameters and we compared our model outputs with empirical data. We finally chose the combination of model parameters which replicated the empirical data best (Schwarz and Ernst 2009) and sufficiently well reproduced patterns actually observed in the field (Grimm 2006, 2010).

There are a number of ABM validation approaches (Bousquet et al. 2003, Castella et al. 2005, Janssen and Ostrom 2006, Grimm 2006, 2010, Schwarz and Ernst 2009). Our validation aimed to ensure that the fundamental structural and behavioral components in the agent-based model captured the main aspects of the actual stakeholder-oriented pluralism of land regulation. We thus ran a set of consistency checks to validate the default situation we sought to represent. The agent-based model involves a lot of parameters, with a large proportion of randomization in the initial choices of value (but the different potential values are all known). The default situation we seek to represent is a pluralistic Sahelian land regulation pattern, so the part of plurality and uncertainty (illustrate by the use of randomization) is essential. The consistency tests consisted on initially set parameters which were normally randomly chosen

As a reminder, this default situation represents a pluralist Sahelian environment composed of different natural environments (i.e. land types) linked to a high variability and uncertainty regarding natural resources evolution and availability (through random annual rainfall). This environment is divided in land territories managed by different water and land chief regulator agents according to their own logic of action (prioritizing economic, social or environmental objectives). User agents have specific and diversified perception of land tenure security, composed by a diversified level of information on the resources surrounding them and on the source(s) of regulation managing it (through their specific value of their attribute “perception of resource regulation”) and by a diversified level of investment security (through their specific value of their attribute “perception of access right duration”).

We realized most of the tests at the space scale of the choice of INIT B (a land plot area is equal to 50 hectares), where user agents represent villages (as grouping of several families) evolving on a space equivalent to a set of local communities. I chose to work on this space scale (1) because it is the first one on which I developed the conceptual agent-based model, it is therefore the more accomplished one, and (2) because this scale propose an intermediary analysis window of the pluralism of land

regulation, between a more local one (at the scale of few villages) and a more general one (at the scale of a large region).

Simulations for the tests are based on a 10 years temporality, equivalent to 20 steps (one step = one dry/rainy cultural season) for each simulation. Each consistency test simulation has been repeated 20 times. Each graphic of the results chooses the evolution of the different observed indicators for each repetition.

(0) Scenario by default : simulation of a traditional pluralism of land regulation (**left column** of the attached figures 3 to 6)

This reference simulation is a twenty repetition of the default pluralist land regulation situation, where land access are delivered by land chief agents (without any introduction in the simulation of another source of land regulation) according to a plurality of logics of action. The characteristics of the water and resource access rights delivered (nature, price, duration, periodicity, quantity of water of hectares delivered etc.) depend on the regulator logic. The rainfall and natural resource dynamics are subject to the uncertainty and variability of a Sahelian environmental context. The observed results show that on average between half and two third of the user agents have ongoing resource access rights over time (3.1 to 6.1) and that these resource access rights concern between one and two third of the land plots (3.2 to 6.2). According to the quality of annual rainfall, and to the alternation of rainy and dry seasons the number of user agents benefiting from water access rights strongly varies³⁷ (3.3 to 6.3). The number of user agents realizing rural activities over time also strongly varies according to the alternation of rainy and dry season, because in the dry seasons activities depends on water access (no water access rights, no possibility of realizing an activity for the user agents) (3.4 to 6.4). This pluralist traditional land regulation management leads to an overall good environmental state of water (3.5 to 6.5) and natural resources (3.6 to 6.6), which tend to stand or increase over time. All in all, the randomization of regulators' logics of action choices and of rainfall dynamic seems to have a significant impact on several indicators, according to the disparity of probe evolutions within the repetitions.

(1) Scenario of the consistency Test One: only good annual rainfall (see attached figure 1)

For this first consistency test, we only changed the rainfall dynamic parametrized by default with the respective probabilities of occurrence: good rainfall (1/6), medium rainfall (1/3), bad rainfall (1/2) to only good rainfall at each step of rainy season (one in two step). The idea was to test if the removal of Sahelian high uncertainty and variability regarding rainfall and natural resource replenishment has a significant impact on the evolution of natural resources. If we compare the results of this consistency test to the ones of the default situation, the observed indicators confirm indeed that with only good annual rainfall, water and natural resources are consequently more abundant.

(2) Scenario of the consistency Test Two: only seasonal resource access rights distributed by land regulators (see attached figure 2)

Land regulators have by default the possibility to decide, according to their logic of action, of the duration of each resource access right they distribute to the users (from seasonal access rights to access rights available for several years). For this consistency test, we set this duration to only

³⁷ The strong variation rainy/dry season is illustrated by the saw-tooth reading of the probes

seasonal resource access rights (available only for the season or the step). This second consistency test has been developed to test the meaning of different indicators, and to insist on the fact that a single indicator often shows only part of the information and it remains an interesting exercise to cross this first information with other indicator evolutions, to have a better understanding of what is happening overall in the simulation. Here, if we compare the results of the consistency test with the ones of the default situation, some of the observed results pointed out that users have no access rights in their portfolio neither have a use of a land plot anymore (2.1 and 2.2). But if we look another indicator showing the proportion of users that realize rural activities (for which they need to have resource access rights) at each step, this indicator evolves during the simulation, illustrating the weaker but existing seasonal resource access right interactions (2.3). Interactions between users and regulators on one hand, and between users and the land plots on the other hand are not visible in time because they last only for one season and are happening quietly within the step, but this consistency test shows that they exist anyway.

(3) Consistency tests on fixation of water and land regulator logic of action

The following four consistency tests have been developed in order to test the effect of the plurality of land and water regulators logics of action. In the default situation, regulator agents have indeed initially a random choice between four logics of action to allocate land and water access rights: economic, social, environmental pro conservation and environmental pro restoration. For each of the four consistency tests, this choice of logic of action has been fixed, and for some test linked to other “extreme” situations (i.e. modifications of other parameters). The same set of indicators is observed for each of these four consistency tests of regulators logics of action.

(3.1) Scenario of the consistency Test Three: only social priority logics of action for water and land regulators (see attached figure 3)

For this consistency test, we fixed all the water and land regulators with logics of action prioritizing social objectives. It means that water and land access are free in term of cost, and that regulators care to give equal resource and water access rights to each of the requesting users. If we compare the results of the consistency test with the ones of the default situation, results show that consequently to this “free fare access”, almost every user agent has a water and a land access right (3.1), and the hole environment is open to users (i.e. almost each land plot has at least one user with a resource access right allowing him to farm it) (3.2). But because regulator agents do not monitor the environmental state of water sources and natural resources before allowing access to it, these resources are totally consumed at each rainy season (3.5 and 3.6), meaning that there is not more water or natural resource available at each dry season for the users to realize their rural activities at this period (3.3 and 3.4).

(3.2) Scenario of the consistency Test Four: only environmental conservation priority logics of action for water and land regulators on an environment only composed of fertile lowlands (see attached figure 4)

For this consistency test, we fixed all the water and land regulators with logics of action prioritizing conservation environmental objectives. It means that all regulators will estimate the natural state of their resource (water, fodder, fertility, NTFP) before allowing access on the land plot or the water source, and above a certain threshold they will close this access in order to optimize the

environmental durability of the resource. We also fixed the environment which by default is composed of 1/3 of fertile lowlands, 1/3 of intermediary sandy soils and 1/3 of degraded soils, to only fertile lowland land plots. This extreme situation has been developed in order to test the reactivity of enviro-conservationist regulators when all the natural resources are in great environmental state (and are therefore qualify to be protected from use by the regulators, to optimize their conservation). If we compare the results of the consistency test with the ones of the default situation, results show that from the beginning of the simulation, the threshold of natural resources is exceeded for land regulators, and they directly close the access to their land plots in order to create protected natural reserves. Therefore, even if some of the users still succeeding in obtaining water access rights (4.3), no users have resource access rights (4.1), no one realize any rural activities (4.4) and none of the land plots are under user farming (4.2). Water and natural resources are consequently abundant (4.5 and 4.6).

- (3.3) Scenario of the consistency Test Five: only environmental restoration priority logics of action for water and land regulators on an environment only composed of degraded soils (see attached figure 5)

For this consistency test, we fixed all the water and land regulators with logics of action prioritizing restoration environmental objectives. It means that all regulators will estimate the natural state of their resource (water, fodder, fertility, NTFP) before allowing access on the land plot or the water source, and under a certain threshold they will close this access in order to allowing the replenishment of the different resources. We also fixed the environment which by default is composed of 1/3 of fertile lowlands, 1/3 of intermediary sandy soils and 1/3 of degraded soils, to only degraded soil land plots. This extreme situation has been developed in order to test the reactivity of environmental regulators with restoration logics when all the natural resources are in poor environmental state (and are therefore qualify to be protected from use by the regulators, to optimize their replenishment). If we compare the results of the consistency test with the ones of the default situation, results show that the number of user agents with resource access rights on their portfolio (5.1), and the number of land plots for which user agents possess ongoing access rights (5.2) depend more of the rainfall dynamic and the succession of dry and rainy seasons. The same number of users realizes activities over time (5.4), but on a lower number of land plots. The environmental water regulation is more severe than the land one, and at best only one third of the user agents receive water access rights at the end of the simulation (5.3). At last, the environment being only composed of degraded soils, the environmental state of fodder resources is lower than for the default situation (5.6) even if an environmental regulation is established.

- (3.4) Scenario of the consistency Test Six: only economic priority logics of action for water and land regulators, with only high water and land access prices (see attached figure 6)

For this consistency test, we fixed all the water and land regulators with logics of action prioritizing economic objectives. Water and land access prices are fixed to their higher unit values and all regulators choose to give resource and water access rights in priority to the requesting users with the higher capital. Results show that as same as for the consistency test with the regulators' logics of action fixed on social priority objectives, the non-consideration of the environmental state of natural resources before allowing access to it leads to a situation where almost every user agents have ongoing resource access rights (6.1) on the totally of the environment (6.2) (all the land plots have

user agents with ongoing access rights to it). But contrary to the social priority objectives, user agents have to pay this time in order to access to the right to (invest in the) use of a land plot, and few of them are able to afford this land price (the same reasoning is applying to water access rights). This leads to a situation where less than half of the users realize activities during the raining season (6.4) (against the totality of the users for the social priority consistency test, and the three-quarters for the default situation).

(4) General review of the consistency tests

The pluralist default situation seems to create a form of balance between human and environmental interactions (social actions vs environmental sustainability). The balance is troubled each time we reduce the plurality and the random aspect of the significant parameters of the agent-based model. Based on this pluralist default situation, a lot of simulation scenarios are possible according to the question or the areas each potential user of the agent-based model wants to explore.

5. EXPLORATION OF NEW LAND REGULATION SOURCE(S) SIMULATION SCENARIOS

As explained before, land use policies have accentuated over time this already existing complexity. Indeed, rather than abandoning their practices, local populations have added the land tenure policies set up successively to their pre-existing sources of regulation. The aim of the developed scenarios of simulation was to explore these additions of new land regulations to the complexity existing by default, with regards to the ways users seem to perceive these changes, and take them (or not) into account in their logics of mobilization of a pluralism of land regulations.

As a reminder, a user at least partially base his perception of land tenure security on the ways other users already exploiting the spaces that interest him have obtained their own land access rights. The recognition by the other users, because this recognition assures him a non-contesting of his resource access right(s). This prevalence of a land regulation source is therefore defined as the source of regulation which is the most mobilized by the users of the area already exploiting the concerned natural resource. Changes in users' practices of mobilization of land regulations will therefore pass through changes in their perceptions of land tenure security linked to these prevalences of land regulation sources.

Besides, changes in land regulation can be introduced through a diversity of **intensities** (as the proportion of users mobilizing this new land regulation source on a same area) and **configurations** (as the spatial distribution of the users mobilizing the new land regulation source). This leads to a diversity of landscape composition evolutions at a general scale, according to the introduced changes. For example, a new development project can bring changes in land regulation on one or several contiguous areas (the project works with all the users of a village, of a local community, of a hydro-agricultural area...). A new land use policy will however concern all the users of the country, oftenly on a voluntary basis (users have to launch the process of converting and formalizing their land rights).

According to the intensity and the configuration of the introduced change, its nature, the pre-existing perceptions of land tenure security that users of the area(s) concerned by the land regulation change have or not, the expression of this stakeholder-oriented pluralism of regulation will vary. The

scenarios of simulation particularly aim to explore the concept of perception thresholds, above which changes are observed in users' practices of mobilisation of land regulation sources, but below which no matter the nature of the introduced change (for example, a new land use policy), it does not seem to be perceived, or in any case considered by Sahelian users.

In order to do so, I chose to explore the diffusion of (a) new source(s) of land regulation, according to (1) the diversity of ways it can be introduced in the pluralist default situation of the agent-based model, (2) in relation with the diversity of users' perceptions, participating to the dissemination within the users' practices of these new sources of regulation, above certain thresholds.

These simulation scenarios can be explored in the agent-based model at the space scale of a village territory (INIT A), a set of local communities (INIT B) or a region (INIT C). I chose to realize the simulations at the scale of INIT B, to keep the idea of an intermediary analysis window of the pluralism of land regulation, between a more local one (at the scale of few villages) and a more general one (at the scale of a large region).

i. First set of simulation scenarios: to explore the dissemination of new land regulation source(s) according to its introduction pattern

In addition to the initial/by default traditional land chief regulations, the agent-based model considers 3 possible types of regulator agents linked to 3 sources/systems of regulation existing within the pluralism of land regulations for securing access to resources:

- the local community agents, representing the decentralization policy (several new agents created),
- the state agent, central as regionalized (a single new agent created),
- the inter-users regulations (implemented directly by the user agents, no new agents created).

For this set of simulation scenarios, I choose to work with the local community agents and the state agent, because they represent two different sources of external changes in the traditional by default land regulation. The state agent represents a single "top-down" regulator with its unique logic of action (which he randomly initially chooses) for allocating resource access rights on his land plots (representing the whole environment) while several local community agents are created, and each local community regulator agent initially chooses its own logic of action to manage the resources of his decentralized territory (representing a portion of the whole environment).

Perceptions of user agents are here plural and specific to each user agent, randomly chosen (between 1 and 15) at the initialization of the model. The environment of the agent-based model is composed of 900 land plots, each land plot representing a 50 hectares area, for a total area of 45 000 hectares. A new land regulation source can appear in this environment through:

- a certain intensity: as the proportion of users mobilizing this new land regulation source on a same land plot. According to the nature of the new land regulation, the initial value of intensity on a land plot is introduced through the attributes: `localCommunityUpdateValue` and `stateUpdateValue` of each land plot;
- a certain configuration: as the gathering of (1) the number of land plots concerned by this new land regulation source with (2) the distribution of these land plots (randomly spread

within the whole environment, or contiguous on a certain area of the environment (for example: a village, a local community...). These variables are explored through the attributes: `numberOfStateUpdate` and `numberOfLocalCommunityUpdate` (for the number of land plots concerned by the new land regulation) and through the attribute `choiceOfInitRegulation` defining if the introduction pattern is contiguous-localized or randomly spread within the environment of the agent-based model.

We developed two series of simulation scenarios (see Table 16): one with a fixed intensity and a variable configuration, and one with a fixed configuration and a variable intensity. For each of these series, the new land regulation is introduced either by the State or by the local community agents. The idea behind this separate introduction is to test if the diffusion of a new land regulation is different depending on whether it is introduced through one central general regulator or through several decentralized local regulators.

Simulations for the scenarios are also based on a 10 years temporality, equivalent to 20 steps (one step = one dry/rainy cultural season) for each simulation. Each scenario has been repeated 10 times. Each graphic of the attached figures A, B, C and C presenting the results chooses the average of the evolution of the different observed indicators for each repetition (i.e. one probe represent an average of 10 simulations). The calibration of the scenarios (the fact that we simulate during 20 steps, the value interval, the fixed value to the number 20 etc.) results from an experimental stage of simulation conducted to build the scenarios and consequently to test the responses of the agent-based model.

Table 16: overview table of our set of simulation scenarios

| NATURE OF THE NEW LAND REGULATION SOURCE | CONFIGURATION OF THE CHANGE | | INTENSITY OF THE CHANGE | SCENARIO NUMBER | SYNOPSIS OF THE SCENARIO | FIGURE |
|--|-----------------------------|----------------------|-------------------------|-----------------|--|-------------------------|
| | DISTRIBUTION | NUMBER OF LAND PLOTS | | | | |
| STATE | RANDOMLY SPREAD | Variable 1-100 | Fixed, 20 | 1 | A new land policy is conceived and implemented by the State. The new “fictive” users mobilizing the State for accessing land resources are disseminated within the whole country, and local initiatives of land interaction with the State emerge from an increasing number of local areas in the country, with a constant intensity of new “fictive” users mobilizing the State on each local area. | FIGURE A left column |
| | | Fixed 20 | Variable 1-100 | 2 | A new land policy is conceived and implemented by the State. The new “fictive” users mobilizing the State for accessing land resources are disseminated within the whole country, on specific constant local areas. The intensity of “fictive” users mobilizing the State regulator on each of these constant local areas is increasing from one to one hundred users. | FIGURE B left column |
| | CONTIGUOUS-LOCALIZED | Variable 1-100 | Fixed, 20 | 3 | A new land policy is conceived and implemented by the State. The new “fictive” users mobilizing the State for accessing land resources are neighbors who share a common contiguous spatial area of the environment. This contiguous spatial area constitutes an increasing portion of the whole environment. The intensity of “fictive” users mobilizing the State regulator on each land plot of the contiguous area is constant. | FIGURE C left column |
| | | Fixed 20 | Variable 1-100 | 4 | A new land policy is conceived and implemented by the State. The new “fictive” users mobilizing the State agent for accessing land resources are neighbors who share a common contiguous spatial area of the environment, of a constant size of 1000 hectares. The intensity of “fictive” users mobilizing the State regulator on each of the land plots of this contiguous area is increasing from one to one hundred users. | FIGURE D left column |
| | | Variable 1-100 | Fixed, 20 | 5 | A new land policy is conceived by the State but implemented by | FIGURE A |

| | | | | | | |
|----------------------------|----------------------------------|----------------|----------------|---|---|--------------------------|
| LOCAL COMMUNITY | RANDOMLY SPREAD | | | | the local community regulators through a decentralization policy. The new “fictive” users mobilizing the local community regulators for accessing land resources are disseminated within the whole country, and initiatives of land interaction with the local communities emerge from an increasing number of local areas in the country, with a constant intensity of new “fictive” users mobilizing the local community of each local area. | Right column |
| | | Fixed 20 | Variable 1-100 | 6 | A new land policy is conceived by the State but implemented by the local community regulators through a decentralization policy. The new “fictive” users mobilizing the local community regulators for accessing land resources are disseminated within the whole country, on specific constant local areas. The intensity of “fictive” users mobilizing the local community regulator of each of these constant local areas is increasing from one to one hundred users. | FIGURE B Right column |
| | CONTIGUOUS- LOCALIZED | Variable 1-100 | Fixed, 20 | 7 | A new land policy is conceived by the State but implemented by the local community regulators through a decentralization policy. The new “fictive” users mobilizing the local community regulators for accessing land resources are neighbors who share a common contiguous spatial area of the environment. This contiguous spatial area constitutes an increasing portion of the whole environment. The intensity of “fictive” users mobilizing the local community regulator of each land plot of the contiguous area is constant. | FIGURE C Right column |
| | | Fixed 20 | Variable 1-100 | 8 | A new land policy is conceived by the State but implemented by the local community regulators through a decentralization policy. The new “fictive” users mobilizing the local community regulators for accessing land resources are neighbors who share a common contiguous spatial area of the environment, of a constant size of 1000 hectares. The intensity of “fictive” users mobilizing the local community regulator of each of the land plots of this contiguous area is increasing from one to one hundred users. | FIGURE D Right column |

Choice of indicators

For this set of scenario simulations, we chose to explore the diffusion of a new land regulation source according to its introduction pattern through the evolution of users activities realized with resource access rights obtained by these different sources.

We therefore followed the evolution of the indicators:

- stateLevel: recording the number of activities realized by user agents over time through resource access rights delivered by the state agent;
- localCommunityLevel: recording the number of activities realized by user agents over time through resource access rights delivered by local communities agents;
- landChiefLevel: recording the number of activities realized by user agents through resource access rights delivered by land chief agents.

Results analysis

Results tend to show that ***no matter the characteristics of the new land regulation introduction pattern, a threshold, above which user agents mainly mobilize the new source for accessing resources (but under which this mobilization stays minimal), exists.*** As the panels 1 of the attached figures A to D show, the value of this threshold varies according to the new land regulation introduction pattern but stays concentrated around the value interval: [20-40], no matter the simulation fixed the intensity or the configuration of the new land regulation introduced. Each probe of the graphic shows the evolution of the number of users (on a total of 1000) mobilizing the State (left graphic) or the local Communities (right graphic) for the realization of their activities at each season over time. The strong variation rainy/dry season illustrated by the saw-tooth reading of the probes still represents the high variability of water and natural resource availability from one season to another, affecting the number of water and resource access rights delivered and so on the number of users able to realize an activity.

Besides, for the same values of intensity and configuration of introduction pattern, ***the new land regulation source observes a more widespread diffusion when it is initially randomly spread within the entire environment than when it is introduced only on a contiguous localized area.*** Panels 1 of the Figures A and B show that between 800 and 1000 users mobilize the new land regulation source above the threshold of perception whereas it concerns only 350 to 600 users on the panels 1 of the Figures C and D. And these proportions are rapidly achieved when the introduction pattern is randomly spread whereas probes are slowly increasing to reach their final level when the introduction pattern is contiguously localized.

This last statement is confirmed by the impact of the new land regulation source on the initial traditional land chief regulation. ***When the introduction of the new source is randomly spread, results show a threshold above which the land chief regulation nearly disappears while when this introduction is contiguously localized it has almost no impact on the mobilization of land chief regulation by the users.*** Indeed, above a threshold of 40-50 for the value of the variable parameter (intensity of number of land plots), panels 2 of the figures A and B show that the mobilization of the initial traditional land chief regulation sources is reduced to a minimum whereas such a threshold

does not exist on the panels 2 of the Figures C and D where around 700 users still mainly mobilize the traditional land regulation at the end of the simulation.

Moreover *the plurality of local community regulators' logics of action for managing their respective territories seems to favor a longer time a pluralism of land regulation whereas the expression of the unique logic of action of a State managing by himself the whole environment seems to encourage a more exclusive State land regulation (once user agents decide to mobilize it).*

The overall comparison of the left and right columns of the figures A to D shows indeed that the final levels of the probes are reached more rapidly when only the State regulation is introduced, and that the values of these final levels are higher.

Finally, the fact of introducing the new land regulation source with a variable intensity (as the proportion of users mobilizing this new land regulation source on a same area) (Figure B and D) or a variable configuration (Figure A and C) (as the spatial distribution of the users mobilizing the new land regulation source) does not seem to influence the results, the trend of the observed probes are broadly similar.

All of these results are linked to the fact that users have specific and diversify perceptions on the resources that surround them and on the sources of land regulation that predominantly managing it. A second set of simulation scenarios has been developed to test the significance of this particular parameter on the potential of diffusion of a new land regulation source, and on the pluralism of regulation observed overall.

ii. **Second set of simulation scenarios: to explore the dissemination of new land regulation source(s) according to users 'perceptions**

For this set of simulation scenarios, we fixed the values of intensity and configuration of the new land regulation source introduction patterns. Each new regulation is introduced in the agent-based model with an intensity (per land plot) of 30 fictive new users, on a 20 land plots distribution. This calibration result from the first set of scenario simulations (see above) on the introduction pattern analysis.

On this basis, as same as for the first set of scenarios, we developed two simulation scenarios, one with a randomly spread distribution of these new land regulation sources, and one with a contiguously localized distribution. This time, the two potential new land regulation sources (state and local community regulation) are introduced simultaneously.

As a reminder, user agents have an attribute "perception of resource regulation", by default specific to each user agent (varying from 1 up to 15 for the INIT B). This reflects the idea that the level of information that land actors possess about land regulations strongly vary from one user to another, some of them have a perception that only extend on their village, or their land territory whereas others will know what is happening in the all country (i.e. the total environment of the agent-based model). For this set of simulation scenarios, the diversity of users 'perceptions is replaced by a progressively increasing homogeneous perceptions, starting from 1 (all user agents have their attribute value equal to 1) and ending at 30 (all user agents have their attribute value equal to 30) at the end of the simulation.

Choice of indicators

For this set of scenario simulations, we also chose to explore the expression of a pluralism of land regulation sources through two series of indicators the evolution of users activities realized with resource access rights obtained by these different sources, as same as for the first set of scenarios: stateLevel, localCommunityLevel, landChiefLevel, otherUserLevel.

Results analysis

Some of the results of the first set of simulation scenarios already showed that the plurality of local community regulators logics of action for managing their respective territories seems to favor a longer time a pluralism of land regulation. ***The current results specify that the pluralism of land regulation is also partially linked to the diversity of users 'perceptions/information asymmetry. For the same values of intensity and configuration of introduction pattern, this pluralism of land regulation sources express itself longer when the new sources of land regulation are introduced only contiguous localized areas.***

Indeed, when the new sources of land regulation appear randomly spread within the environment (Figure G), results show that a form of pluralism is possible at the beginning of the simulation, but after a few steps, especially if users 'perceptions are above 10-15, the State become the predominant source of regulation for all user agents (G.4), except for some simulations where it is the Local Community regulation that predominates (G.2), but it is strictly one or the other, no pluralism is possible). For the last two levels of perception (29-30), all the user agents know all the environment in terms of natural resources and their regulations, and it seems to induce a total incapacity for the new sources of regulation to appear in users 'practices, they mobilize only the land chief agents (G.7 and G.8) because their general initial prevalence at the scale of the whole environment is stronger than the new regulation sources intensity of introduction (30 intensity/ 20 distribution). This unique mobilization of land chief agents also seems to reduce the number of users who actually access to resources, because all users ask to the same land chiefs (because they want to reach the same quality of resources, and so on the same land plots...)).

When the new sources of land regulation are introduced on contiguous localized areas (Figure H), the pluralism is allowed until the end of the simulation, and the local community sources (H.1 and H.2) seems to disseminate and stabilize more effectively where the State regulation tend to disappear after a few steps (H.3 and H.4). No new sources of regulation are maintained in users 'practices before the latter reach a level of perception equal minimum to 14-15. Between a 16-26 level of perception, local communities are the predominant source of regulation for all the user agents (H.2), and the land chief regulation reach its lower level (H.8), but this level increase again when users 'perceptions are high (29-30) and finish at the end of the simulation at a higher level than when the new sources appear randomly.

All these scenarios has been simulated to the space scale of INIT B, but the agent-based model allows the possibility of choosing two complementary scales of analysis in order to complete the exploration of a pluralism of land regulation (see Box 1).

Box 1: complementary set of simulations in order to explore the diffusion of new land regulation source(s) according to the space scale of the agent-based model

For this set of simulation scenarios, we fixed the perceptions of user agents, as plural and specific to each user agent, randomly chosen (between 1 and 15) at the initialization of the model, and we also fixed the introduction pattern of the new land regulation source. Each new regulation is introduced in the agent-based model with an intensity (per land plot) of 30 and a 30 land plots distribution. We then developed two simulation scenarios, one with only the State new regulation introduced (see attached Figure E) and one with only the Local Community new regulation introduced (see attached Figure E) (and the new land regulation sources still appear randomly or in contiguous-localized areas of the environment).

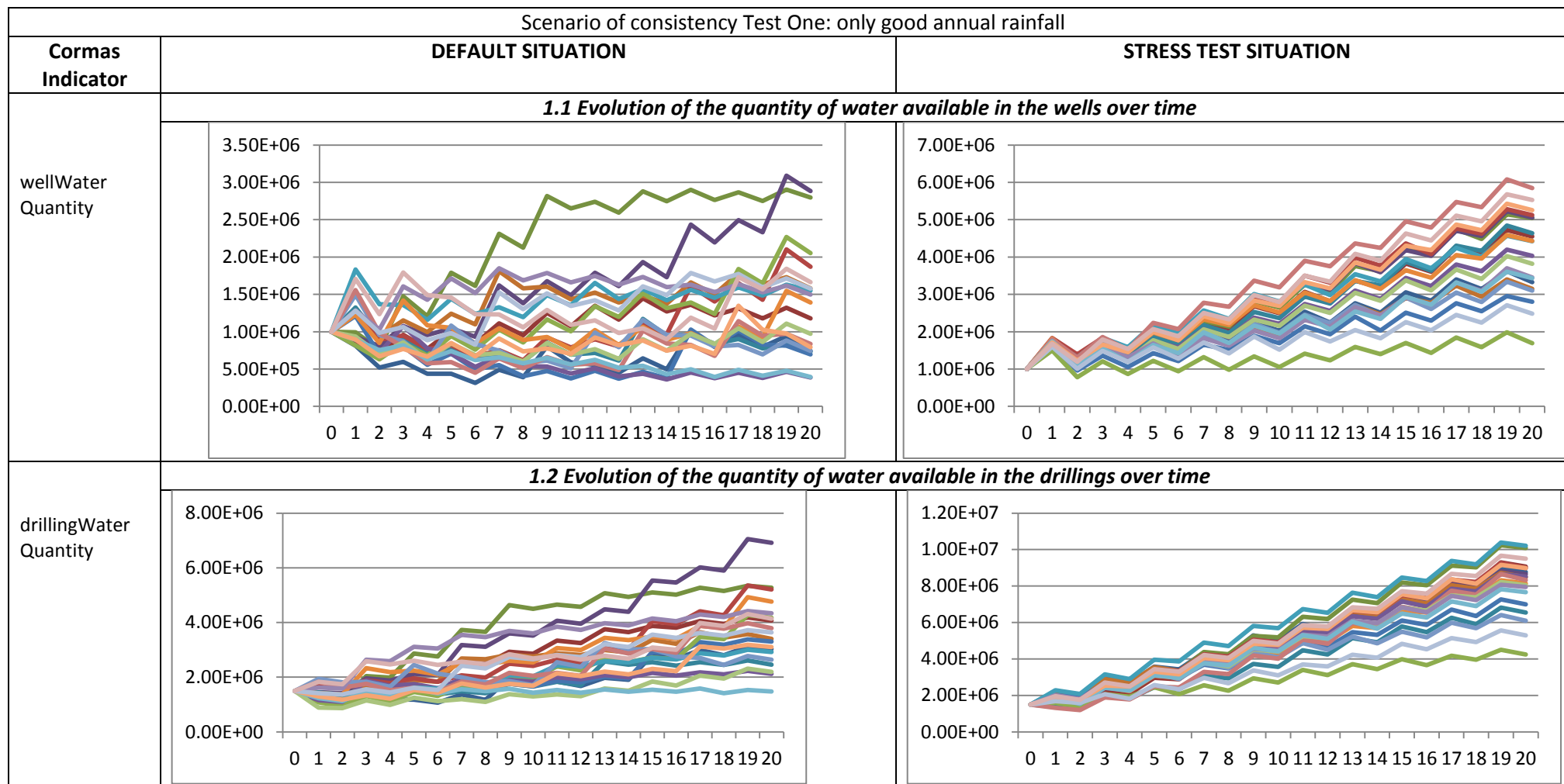
Result analysis

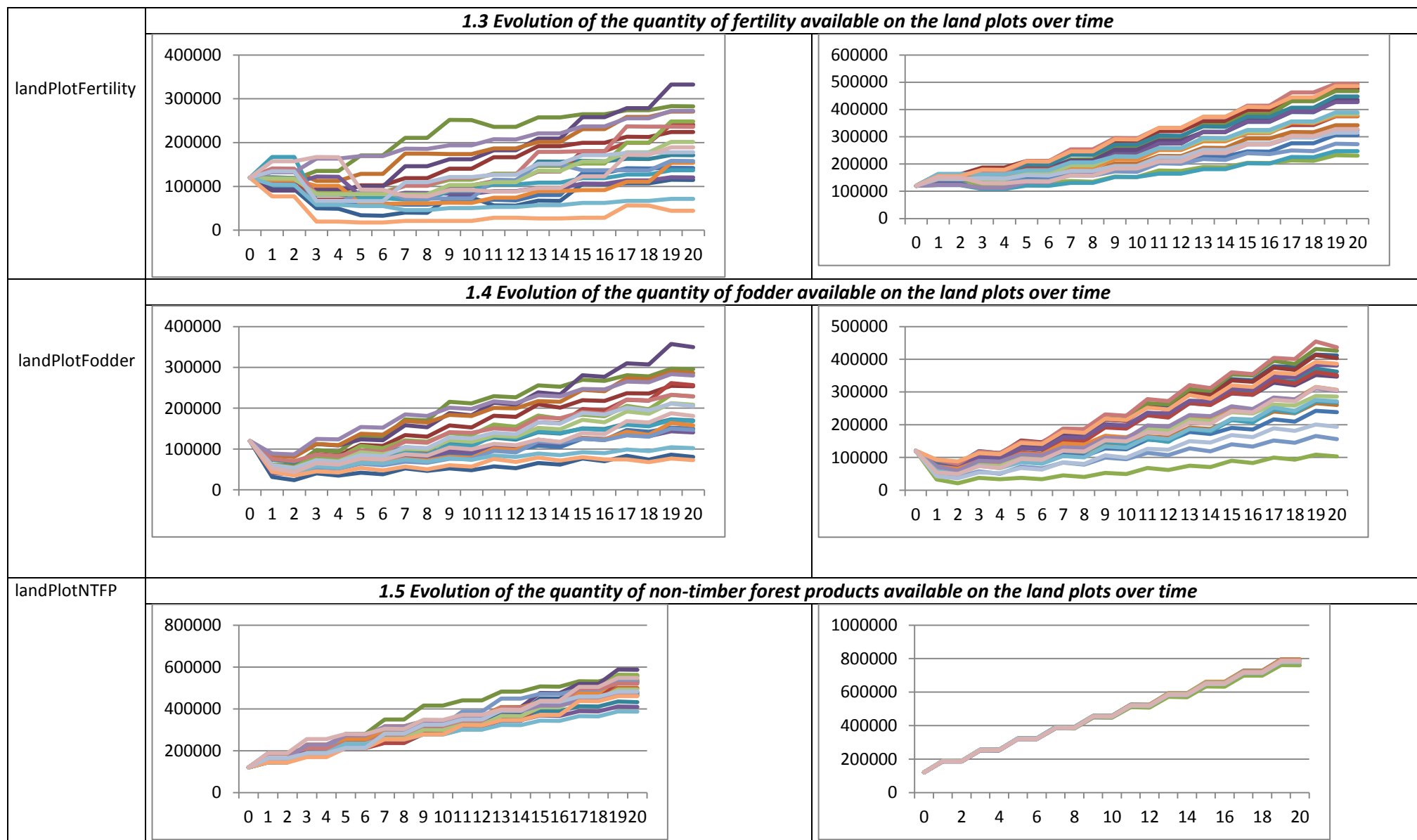
For the same values of intensity and configuration of new regulation introduction pattern on the three space scales, the diffusion of the new source is general on the INIT A (land plot size = 1 ha), no matter the characteristics of the introduction pattern (randomly spread or contiguously localized, through the State or the local community agents). While these characteristics play a role on the new land regulation source diffusion at the scales of INIT B (land plot size = 50 ha) and INIT C (land plot size = 1000 ha).

Indeed, when the new source appears randomly in the environment, the diffusion mainly becomes total whereas when the new regulation source is localized it only concerned at the most one fifth of the users' rural activities. The impact of these new sources of land regulation on the initial traditional regulation through land chief agents is significant at the scale of INIT A (the level of users' rural activities that mobilize land chiefs for accessing resources tend to be reduced to a minimum). At the scale B and C, it is only significant if the new source is randomly introduced.

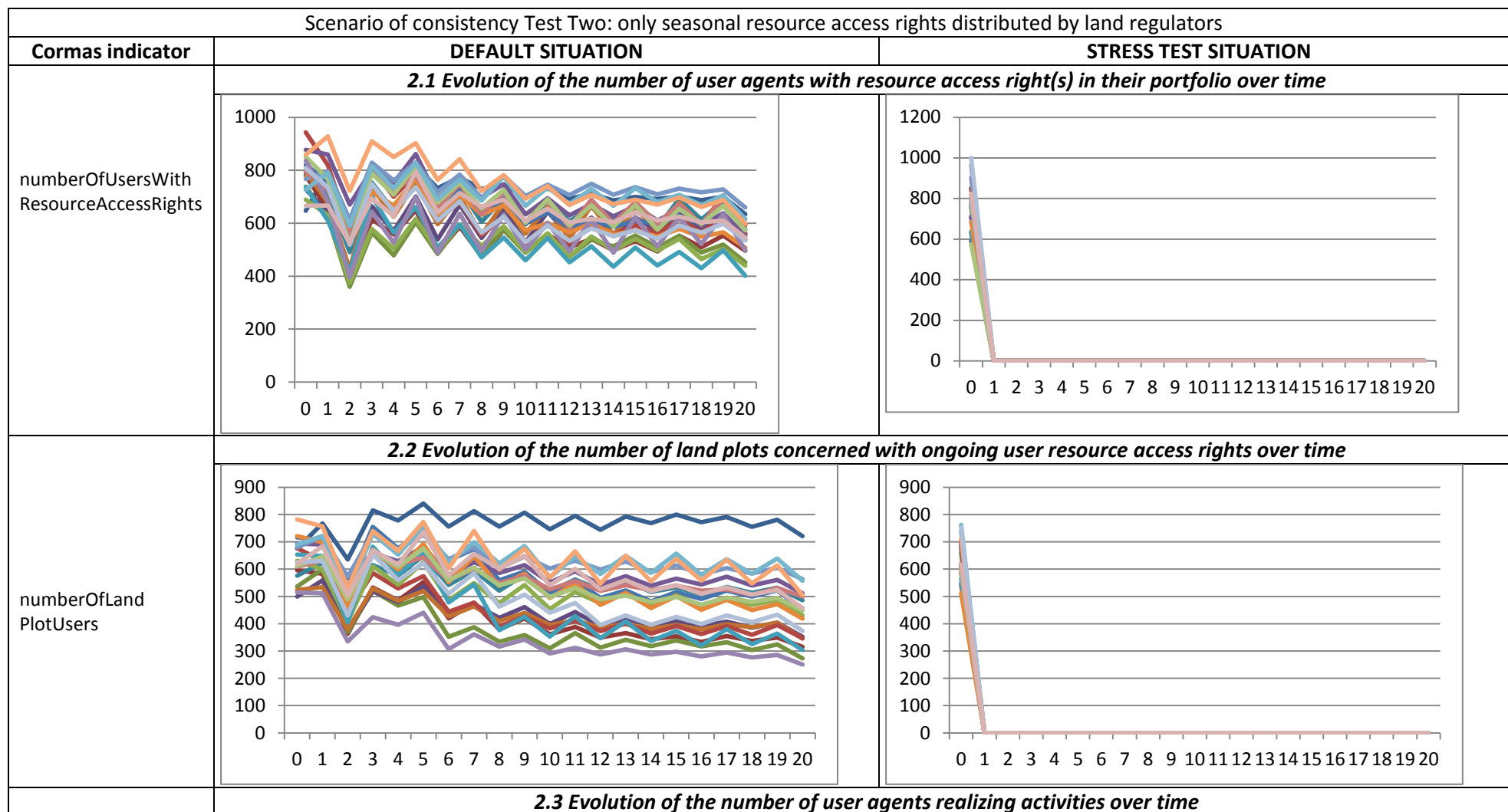
6. ATTACHED FIGURES

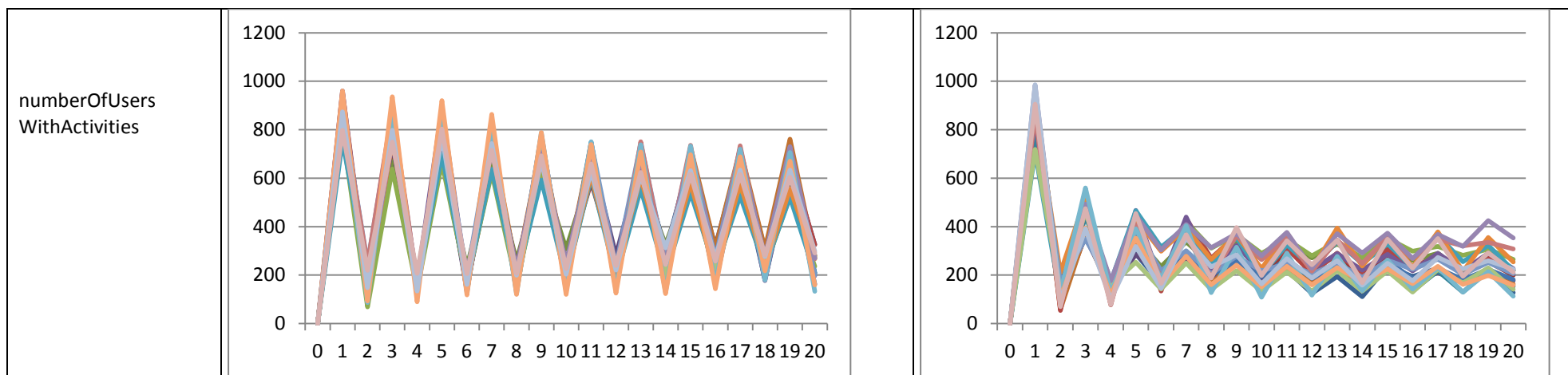
ATTACHED FIGURE 1



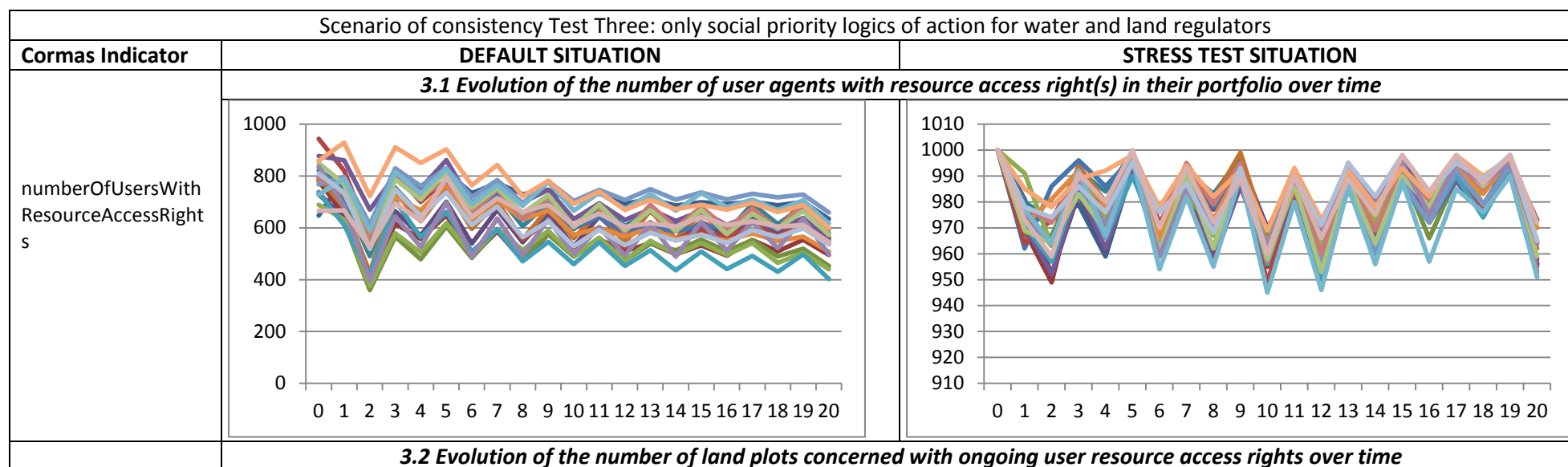


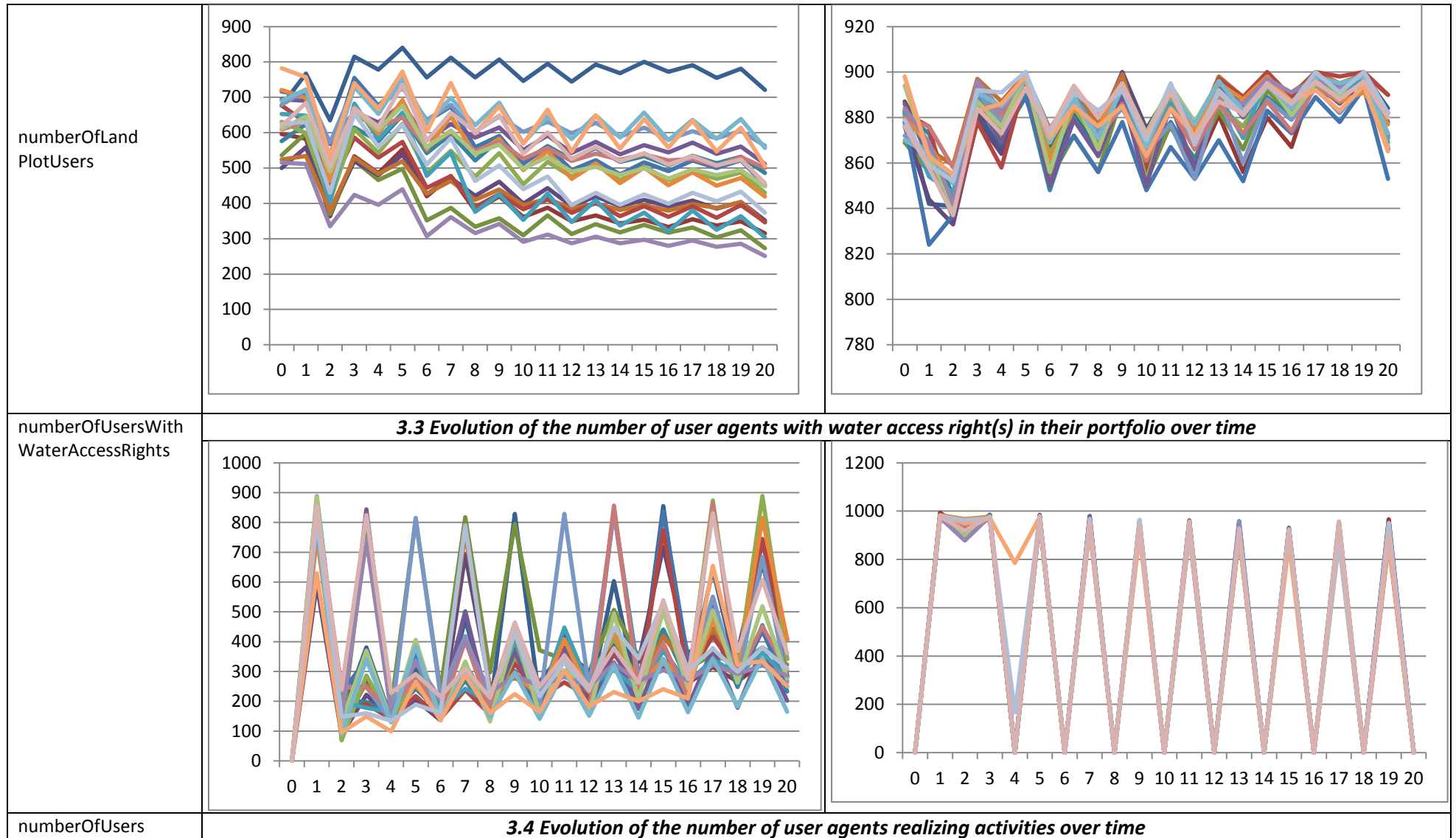
ATTACHED FIGURE 2

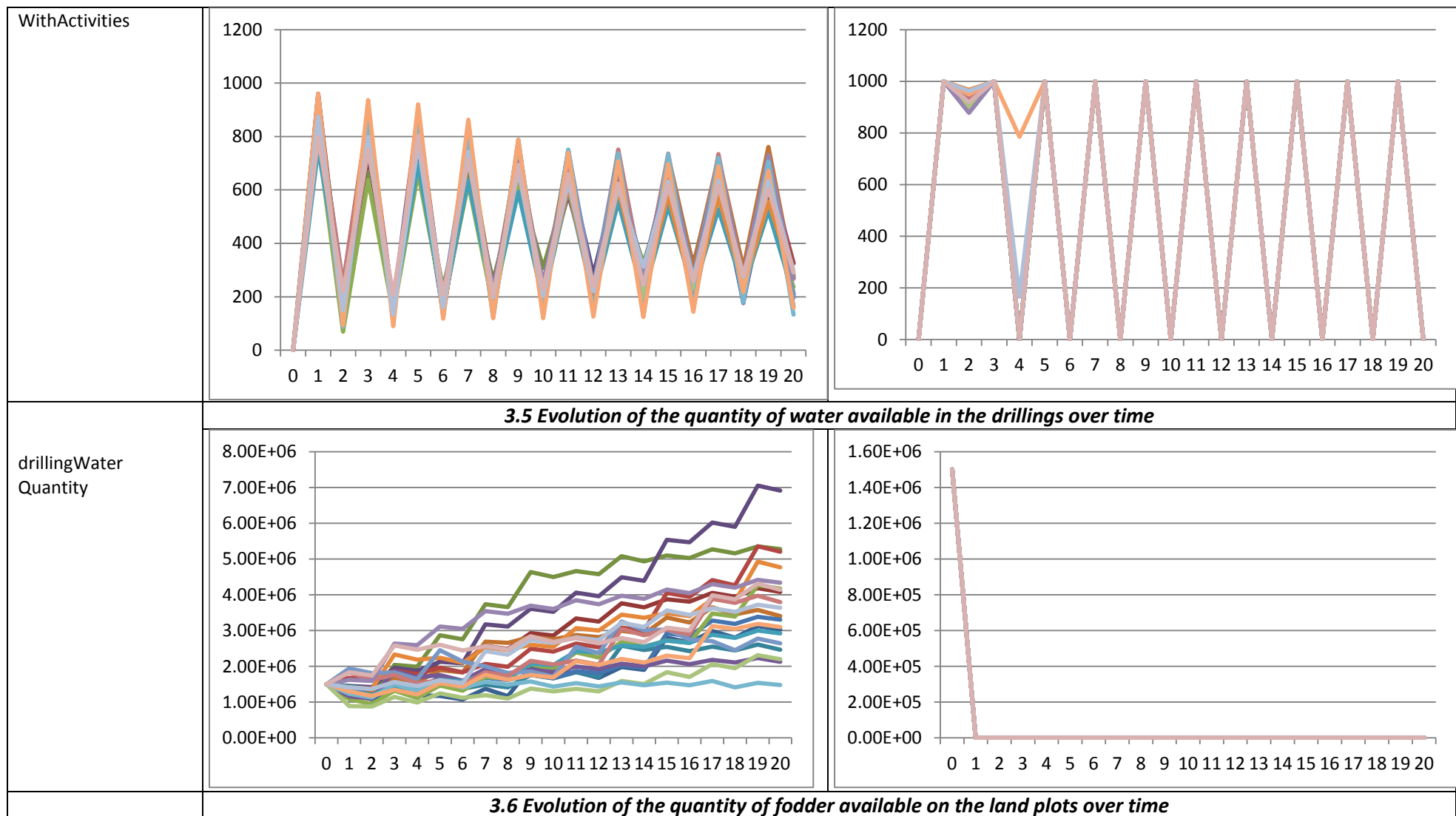


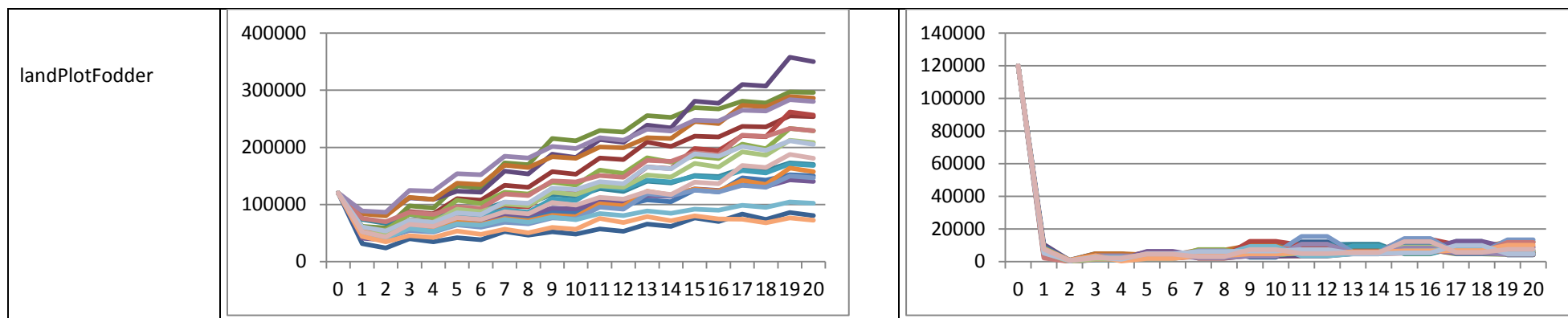


ATTACHED FIGURE 3

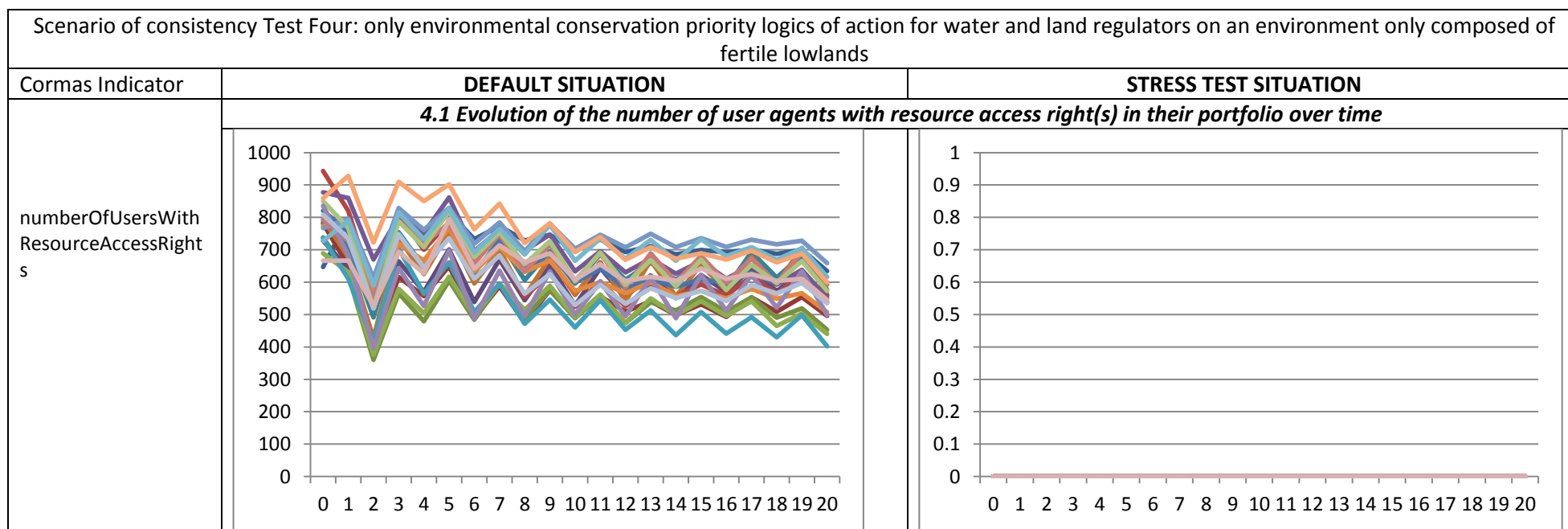


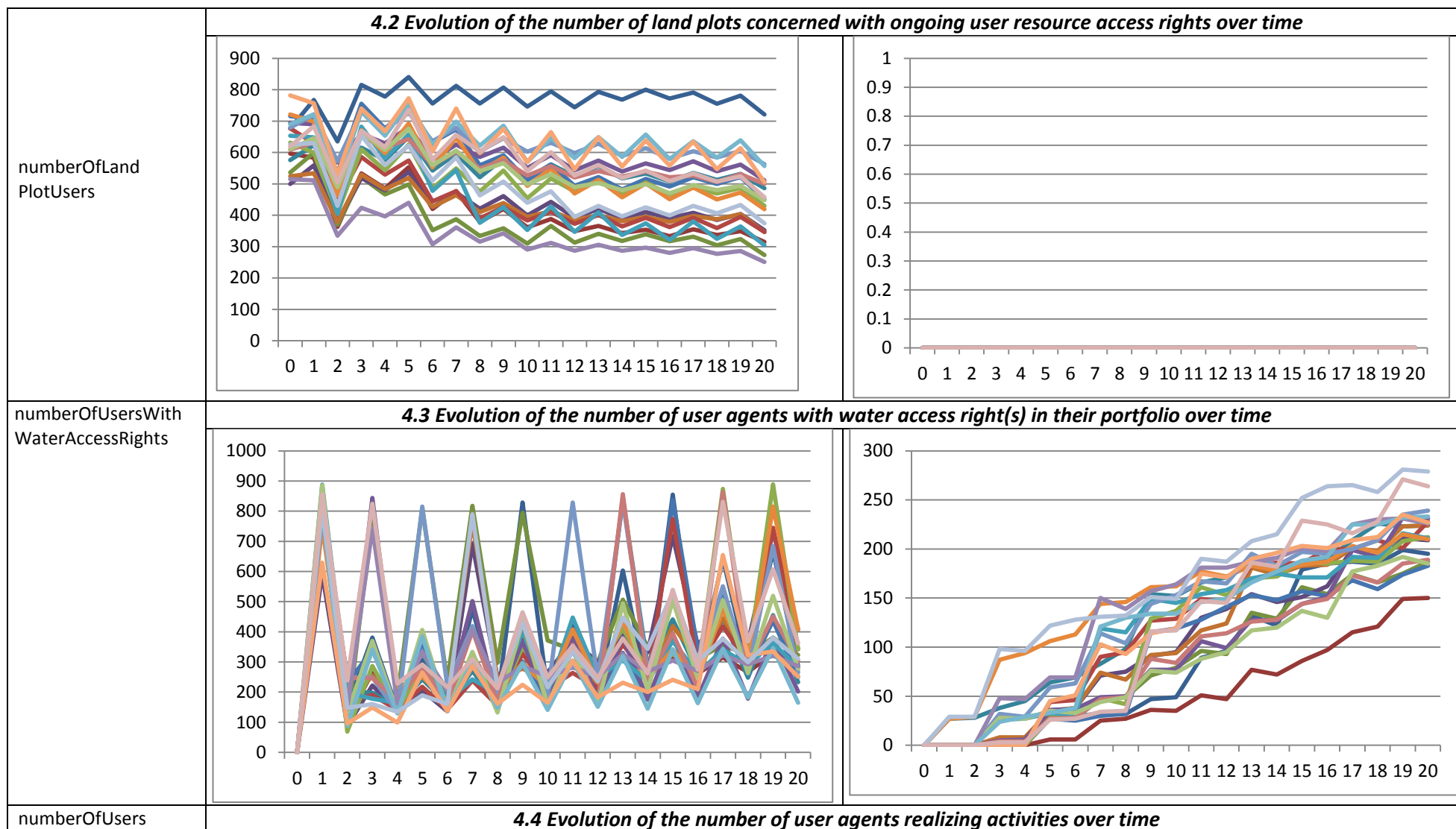


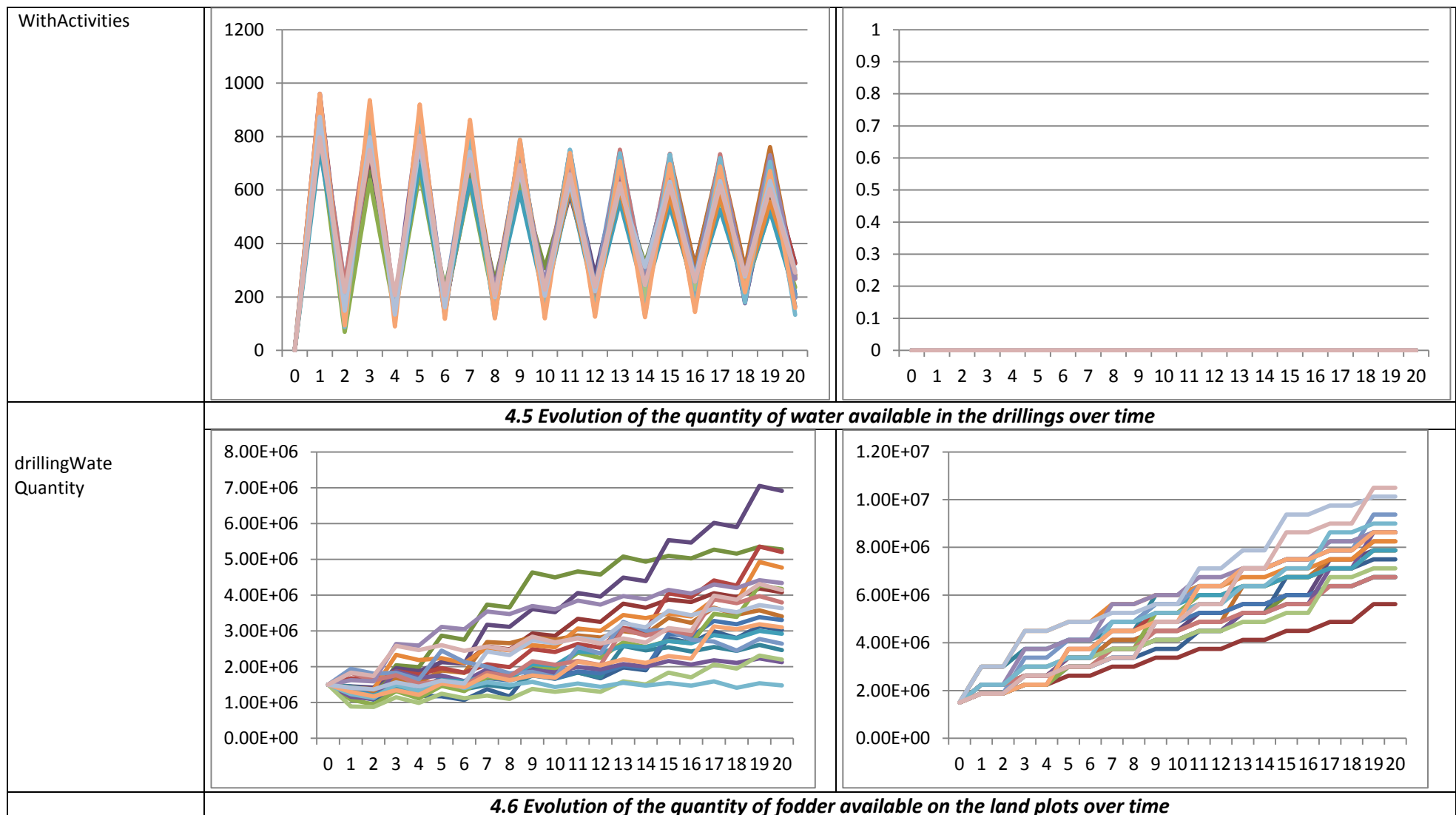


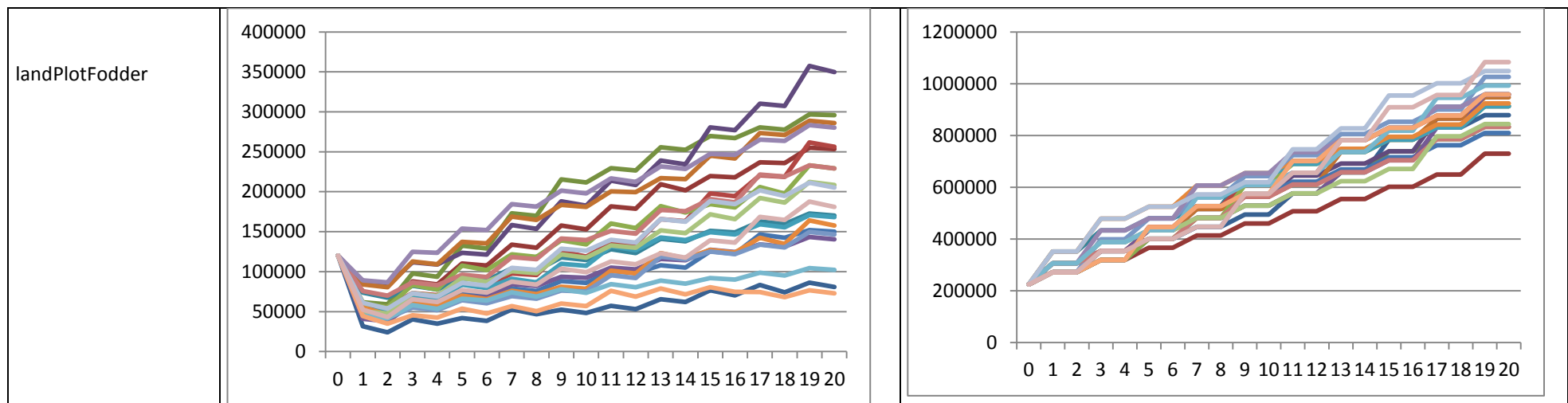


ATTACHED FIGURE 4

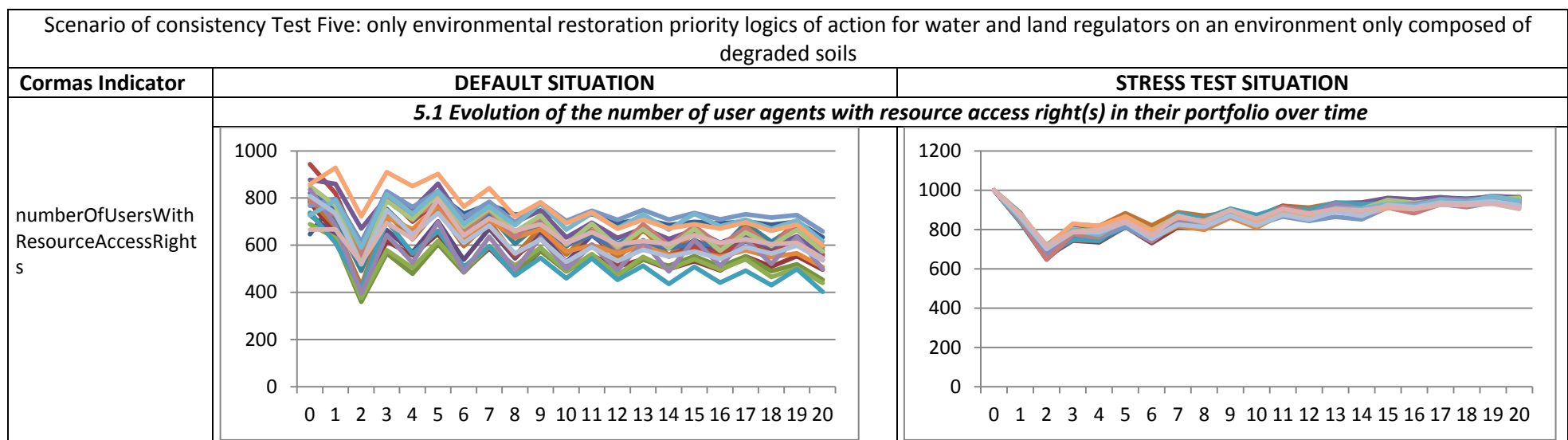


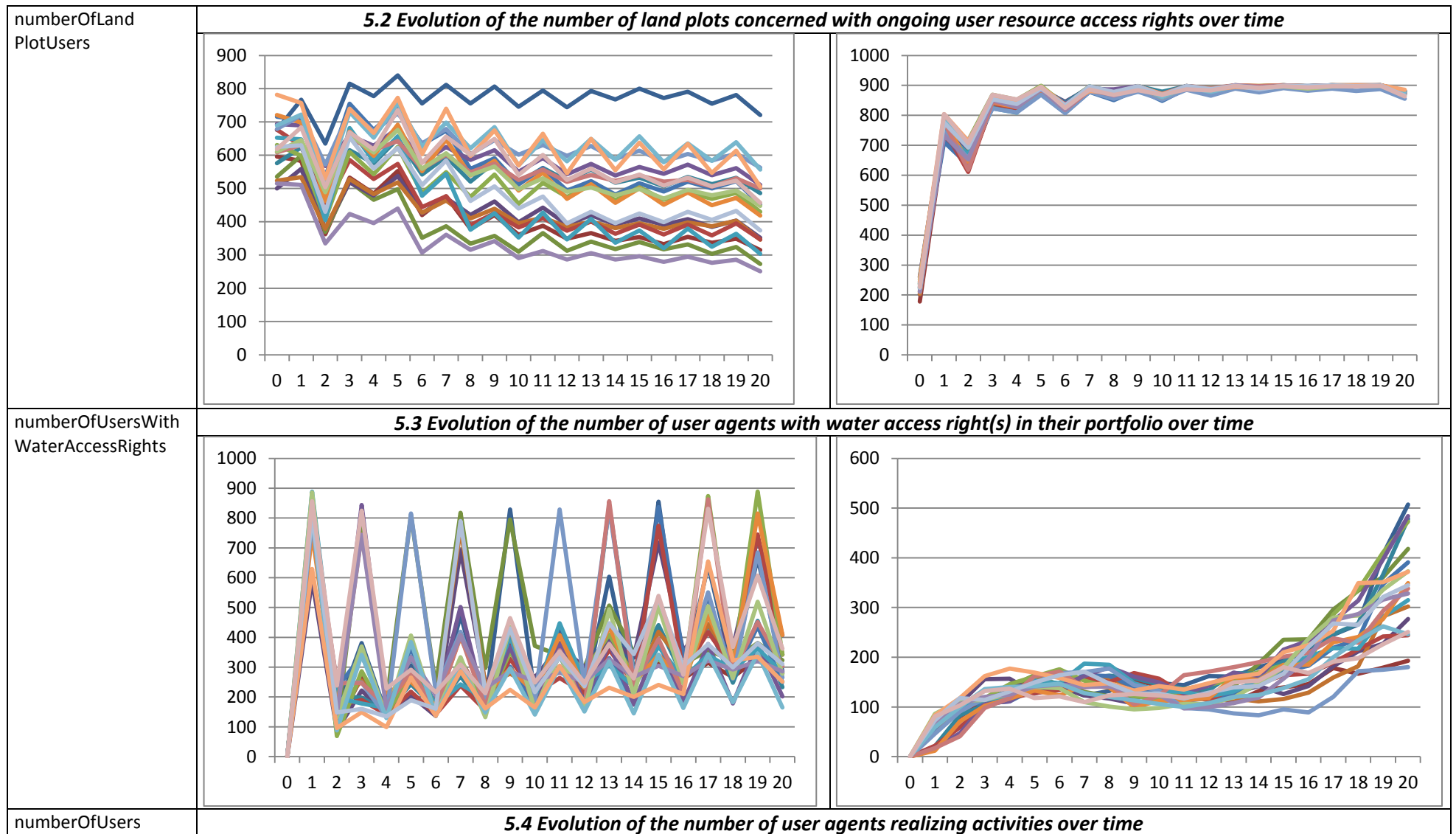


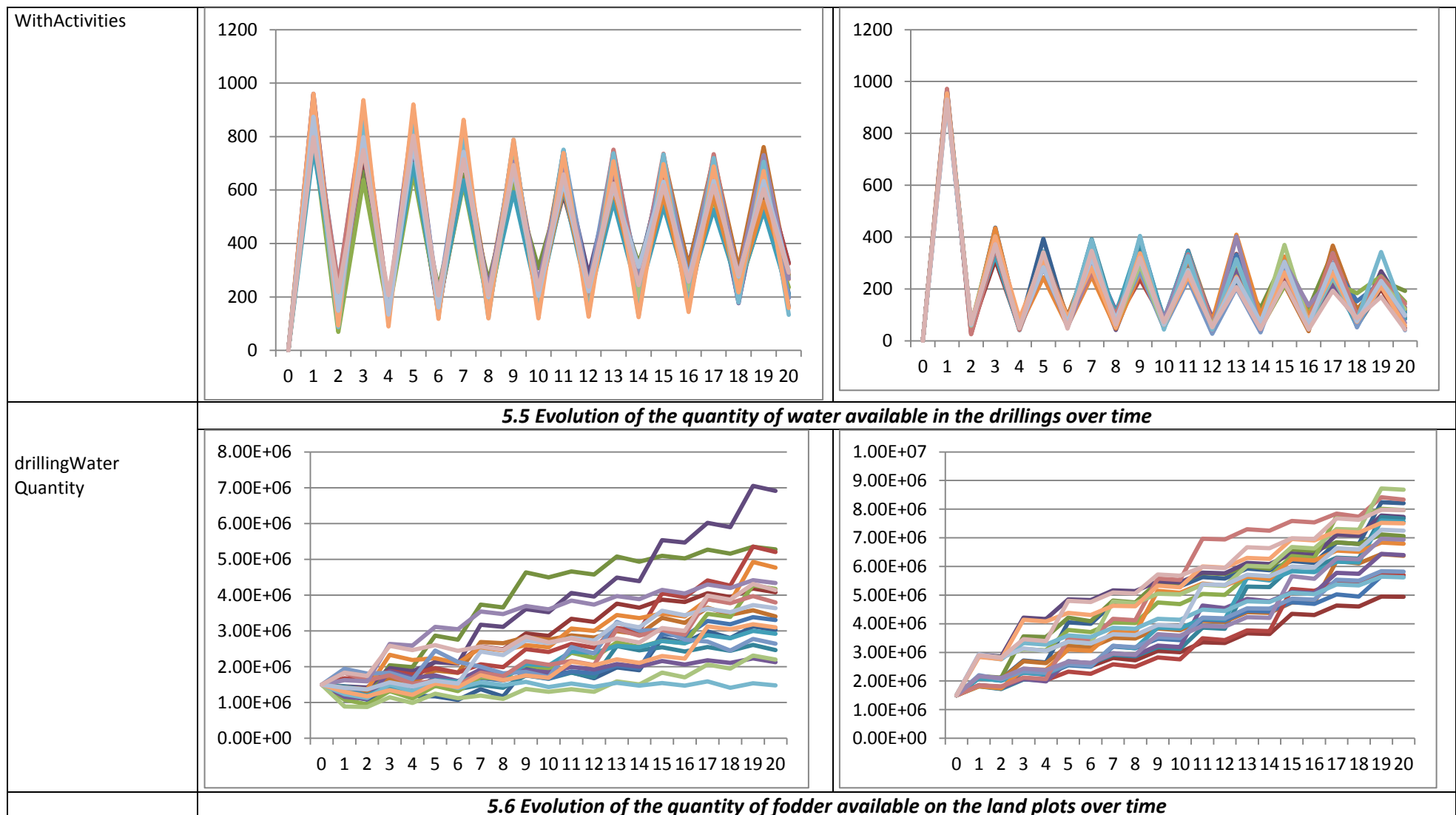


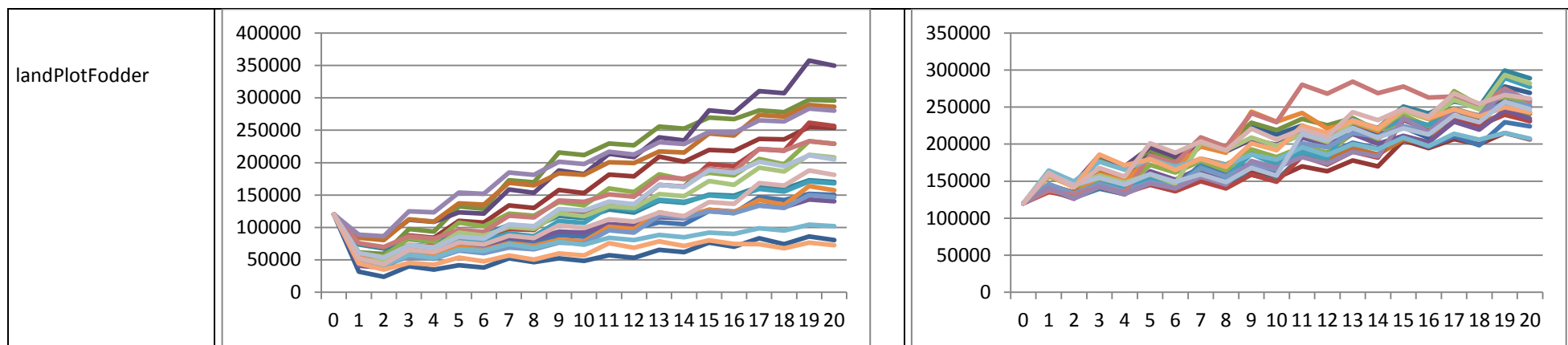


ATTACHED FIGURE 5

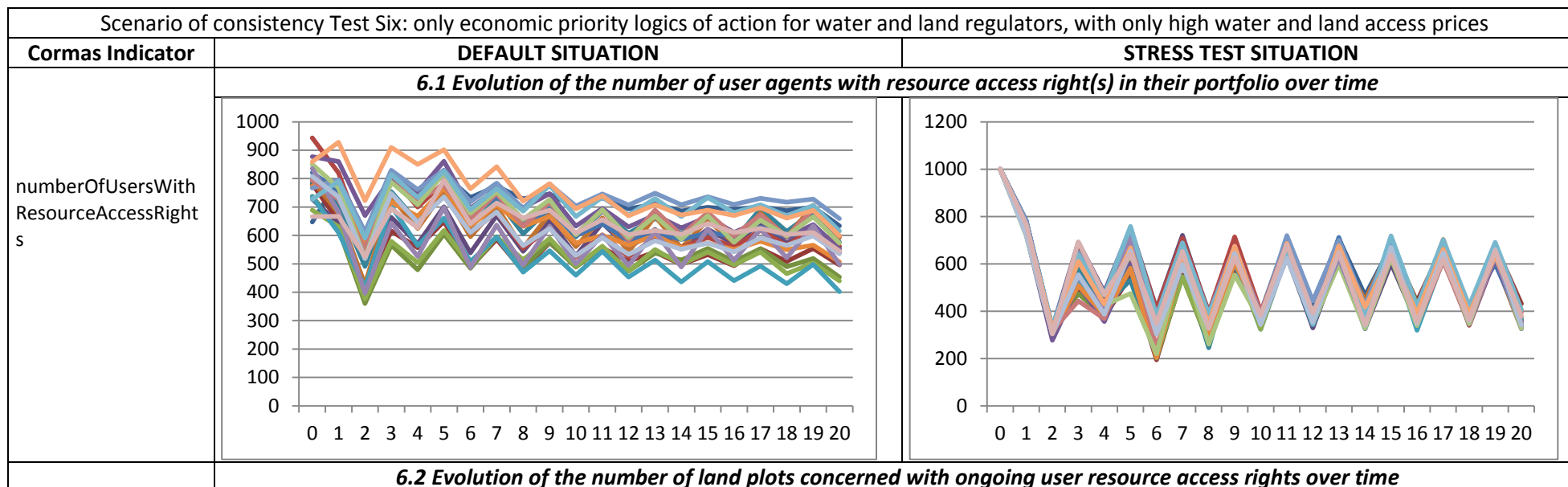


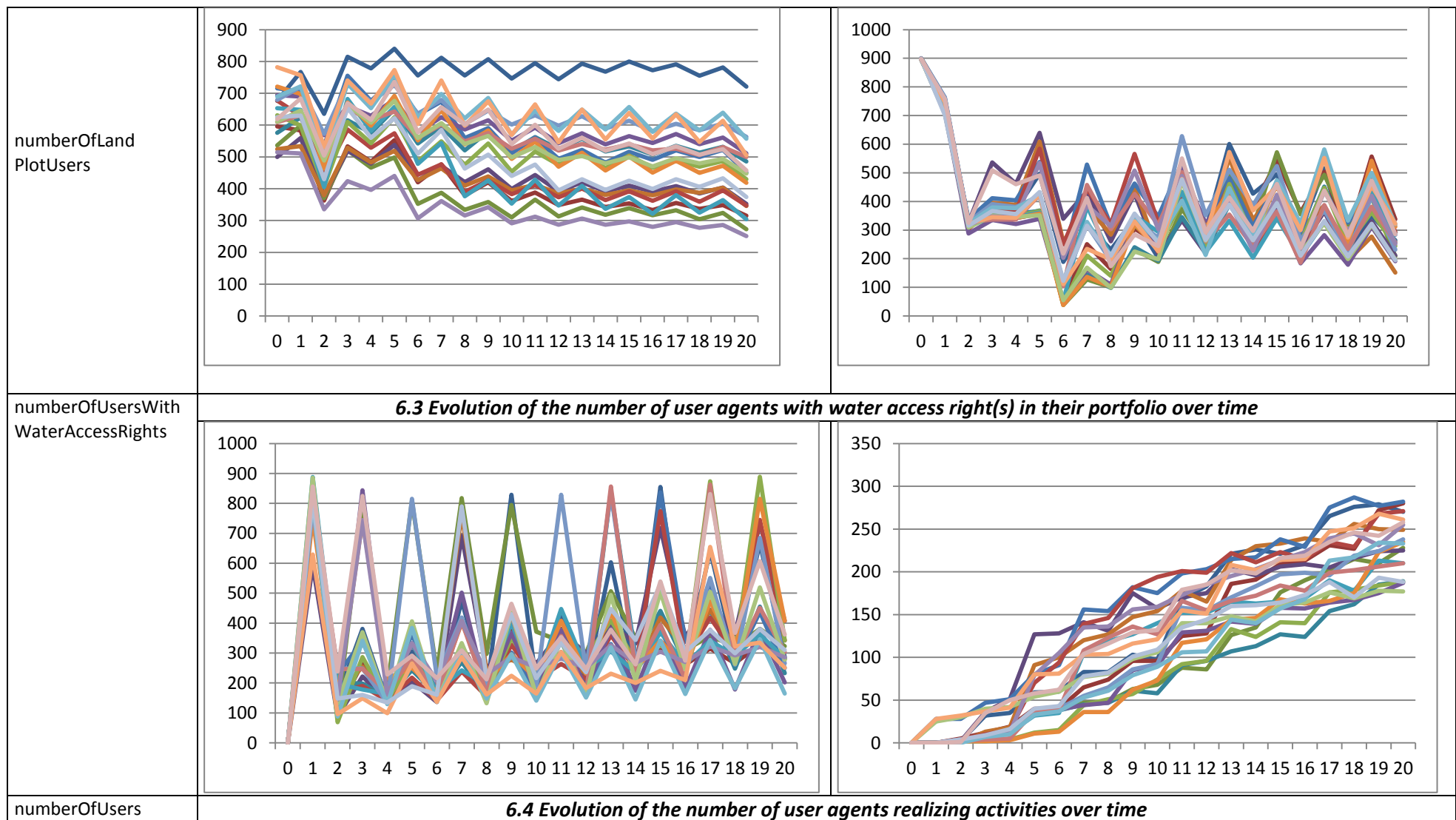


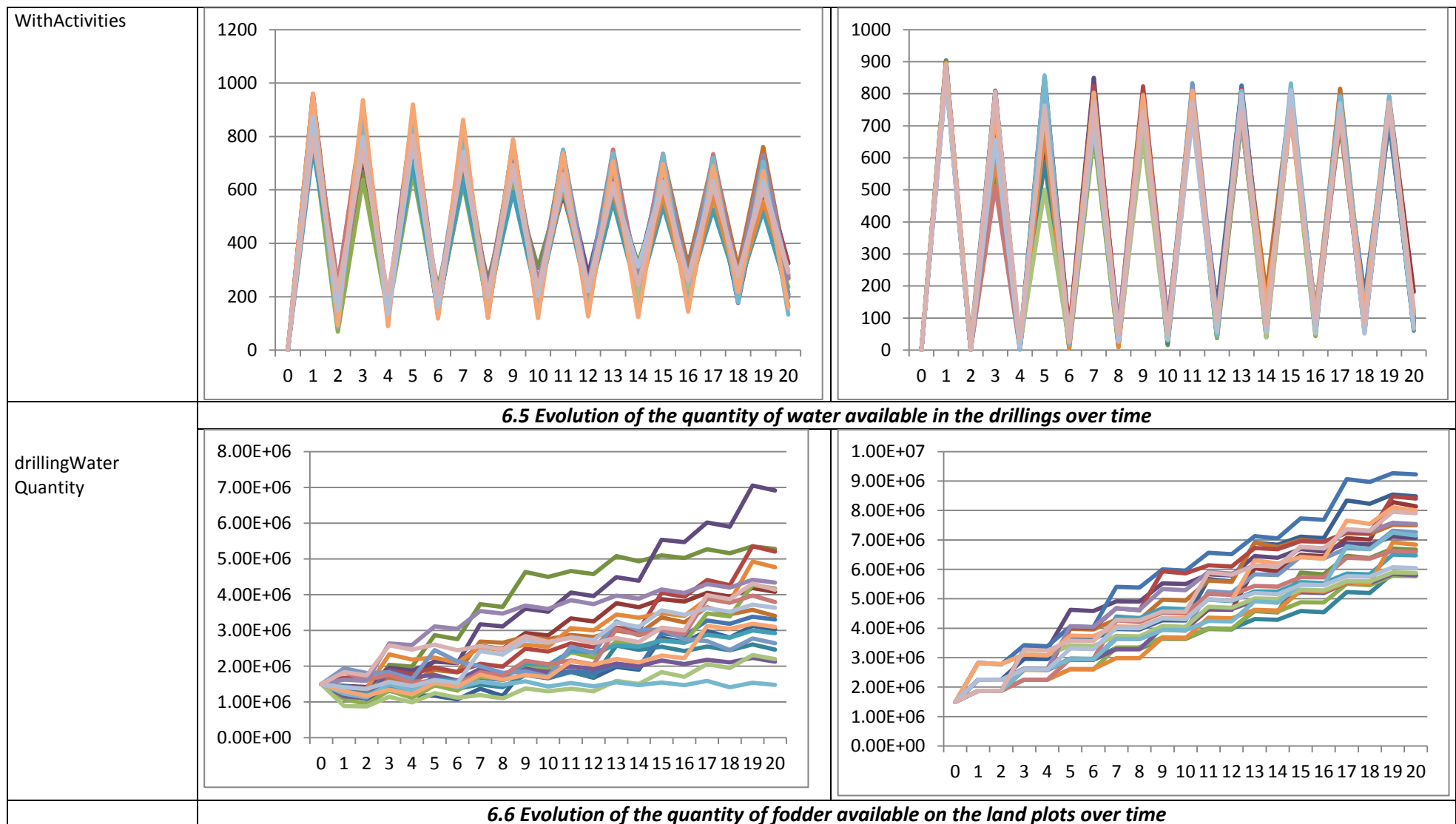


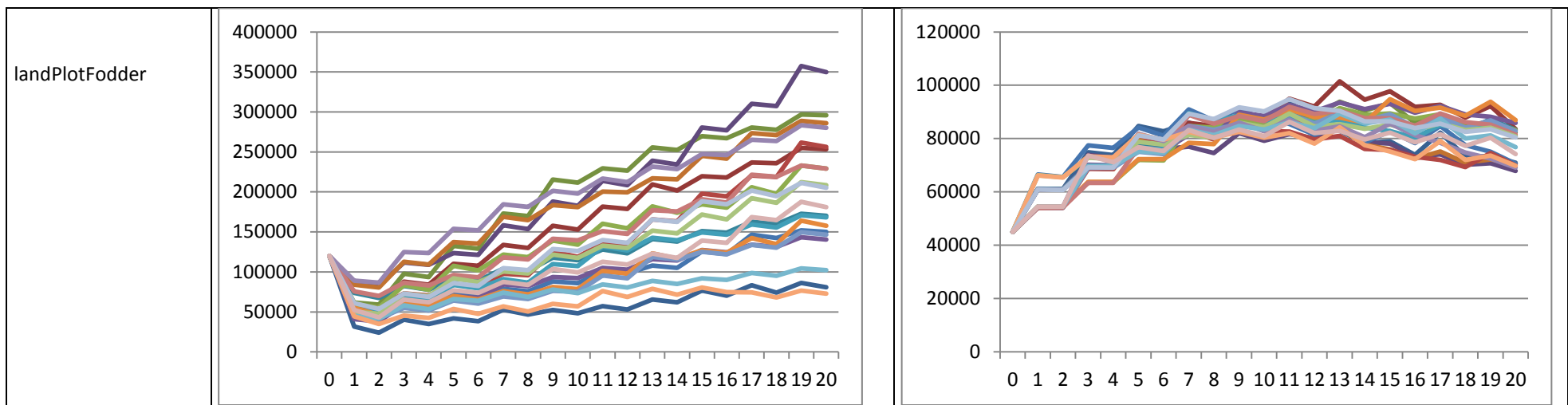


ATTACHED FIGURE 6









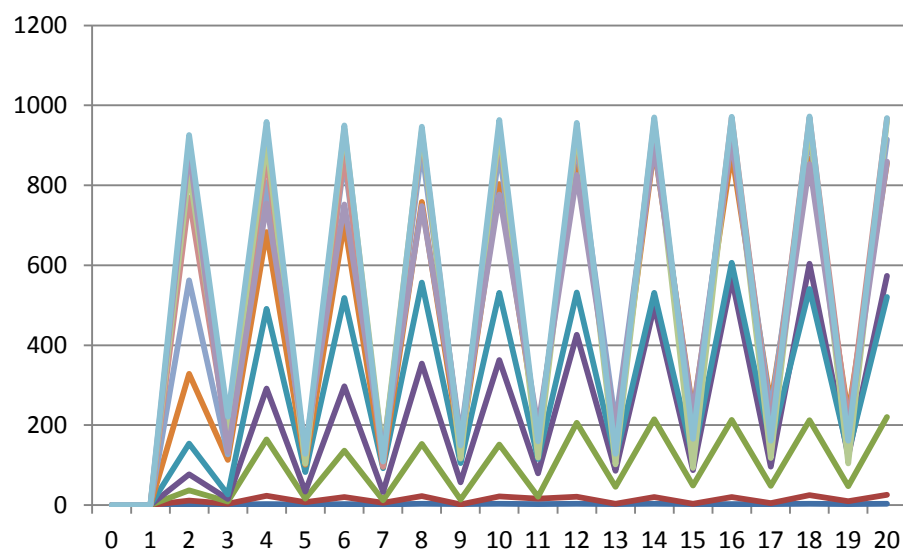
ATTACHED FIGURE A

FIGURE A

Randomly spread introduction pattern of a fixed intensity and a variable distribution of a new land regulation

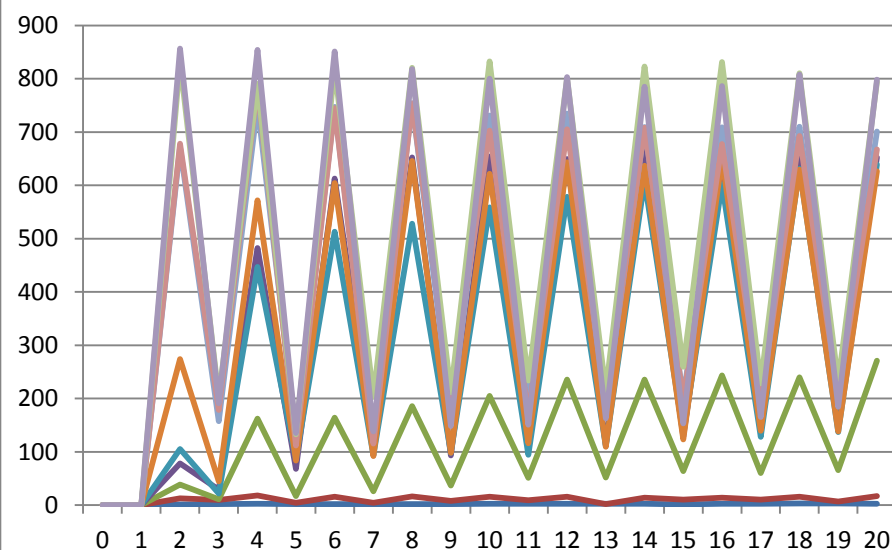
PANEL 1 : comparison of the diffusion of the State and Local Community new land regulations on the user agents rural activities

Level of rural activities initiated by user agents over time through state resource access rights



— NewModelMay2014 class_numberOfStateUpdate: 1
 — NewModelMay2014 class_numberOfStateUpdate: 11
 — NewModelMay2014 class_numberOfStateUpdate: 21
 — NewModelMay2014 class_numberOfStateUpdate: 31
 — NewModelMay2014 class_numberOfStateUpdate: 41
 — NewModelMay2014 class_numberOfStateUpdate: 51
 — NewModelMay2014 class_numberOfStateUpdate: 61
 — NewModelMay2014 class_numberOfStateUpdate: 71
 — NewModelMay2014 class_numberOfStateUpdate: 81
 — NewModelMay2014 class_numberOfStateUpdate: 91
 — NewModelMay2014 class_numberOfStateUpdate: 101

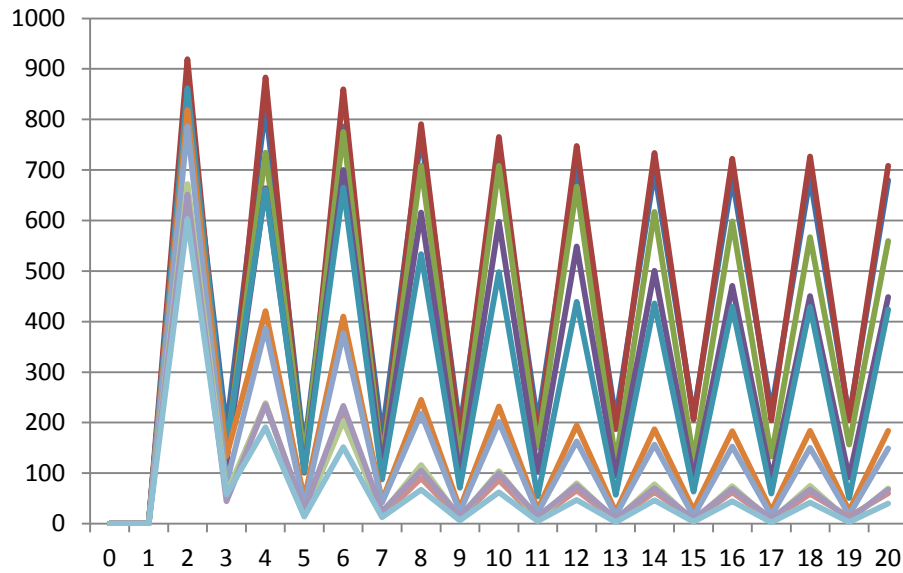
Level of rural activities initiated by user agents over time through local community resource access rights



— NewModelMay2014 class_numberOfLocalCommunityUpdate: 1
 — NewModelMay2014 class_numberOfLocalCommunityUpdate: 11
 — NewModelMay2014 class_numberOfLocalCommunityUpdate: 21
 — NewModelMay2014 class_numberOfLocalCommunityUpdate: 31
 — NewModelMay2014 class_numberOfLocalCommunityUpdate: 41
 — NewModelMay2014 class_numberOfLocalCommunityUpdate: 51
 — NewModelMay2014 class_numberOfLocalCommunityUpdate: 61
 — NewModelMay2014 class_numberOfLocalCommunityUpdate: 71
 — NewModelMay2014 class_numberOfLocalCommunityUpdate: 81
 — NewModelMay2014 class_numberOfLocalCommunityUpdate: 91

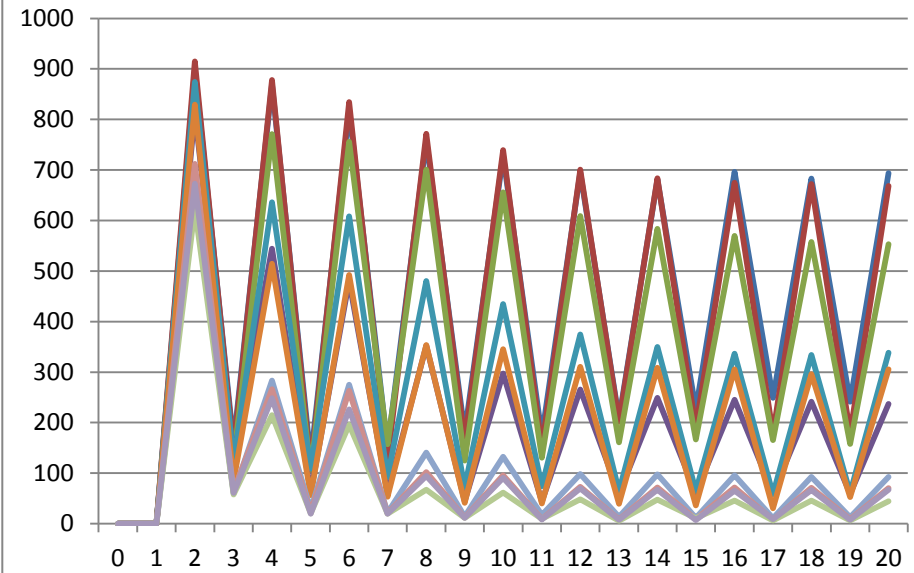
PANEL 2: impact of these new land regulations introduction patterns on the initial traditional land chief regulation

Level of rural activities initiated by user agents over time through land chief resource access rights when a new State land regulation is introduced



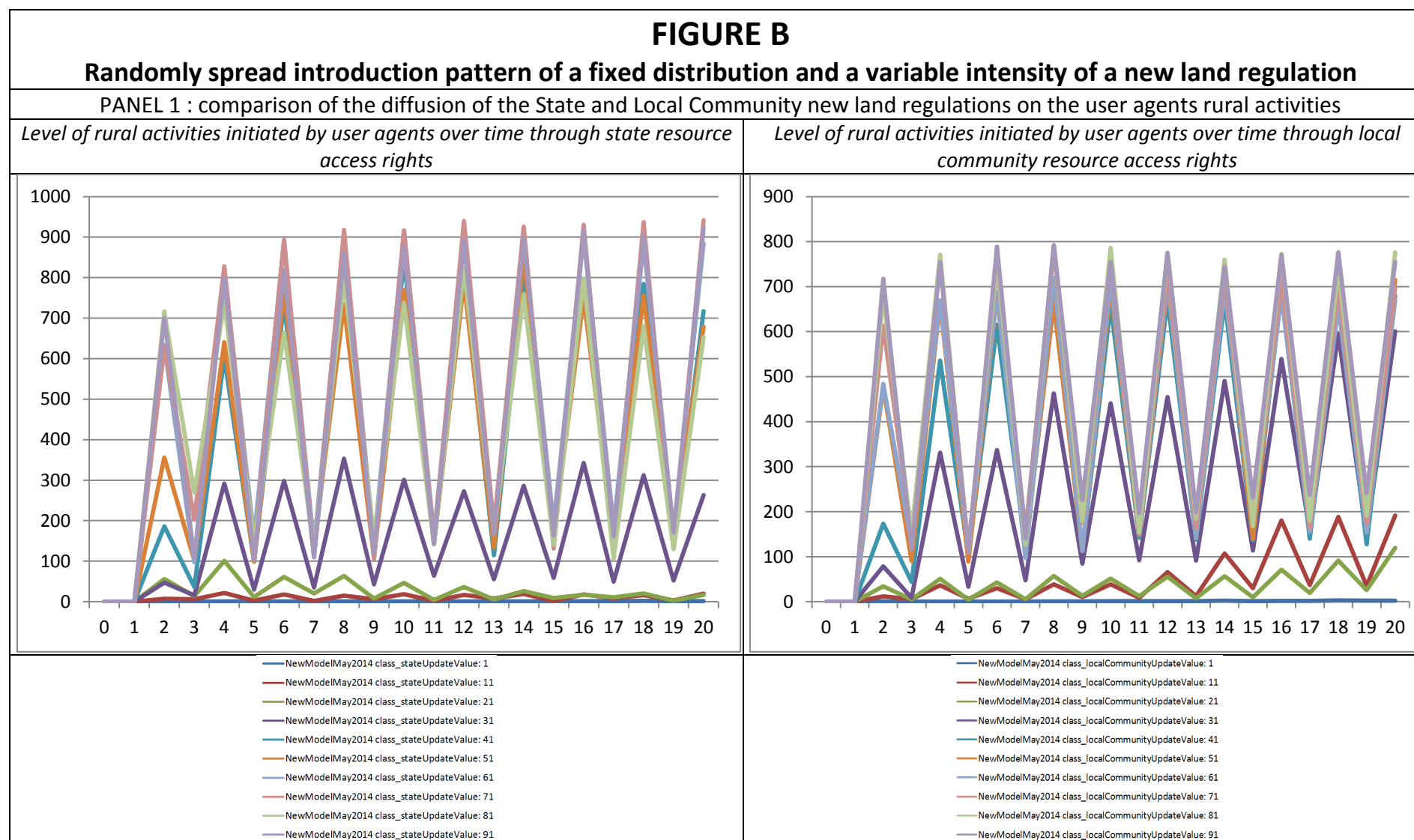
NewModelMay2014 class_numberOfStateUpdate: 1
 NewModelMay2014 class_numberOfStateUpdate: 11
 NewModelMay2014 class_numberOfStateUpdate: 21
 NewModelMay2014 class_numberOfStateUpdate: 31
 NewModelMay2014 class_numberOfStateUpdate: 41
 NewModelMay2014 class_numberOfStateUpdate: 51
 NewModelMay2014 class_numberOfStateUpdate: 61
 NewModelMay2014 class_numberOfStateUpdate: 71
 NewModelMay2014 class_numberOfStateUpdate: 81
 NewModelMay2014 class_numberOfStateUpdate: 91
 NewModelMay2014 class_numberOfStateUpdate: 101

Level of rural activities initiated by user agents over time through land chief resource access rights when a new local community land regulation is introduced



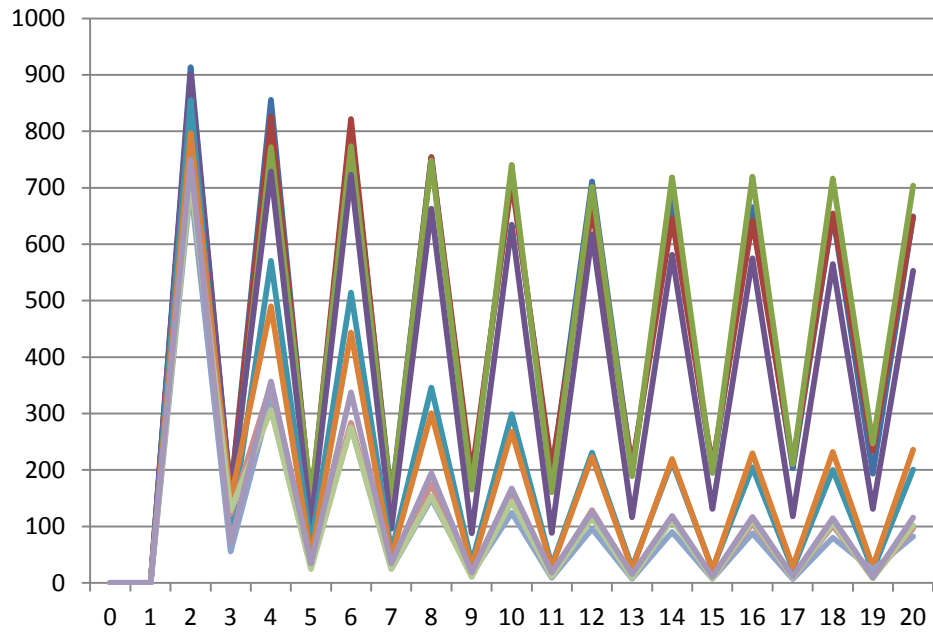
NewModelMay2014 class_numberOfLocalCommunityUpdate: 1
 NewModelMay2014 class_numberOfLocalCommunityUpdate: 11
 NewModelMay2014 class_numberOfLocalCommunityUpdate: 21
 NewModelMay2014 class_numberOfLocalCommunityUpdate: 31
 NewModelMay2014 class_numberOfLocalCommunityUpdate: 41
 NewModelMay2014 class_numberOfLocalCommunityUpdate: 51
 NewModelMay2014 class_numberOfLocalCommunityUpdate: 61
 NewModelMay2014 class_numberOfLocalCommunityUpdate: 71
 NewModelMay2014 class_numberOfLocalCommunityUpdate: 81
 NewModelMay2014 class_numberOfLocalCommunityUpdate: 91

ATTACHED FIGURE B



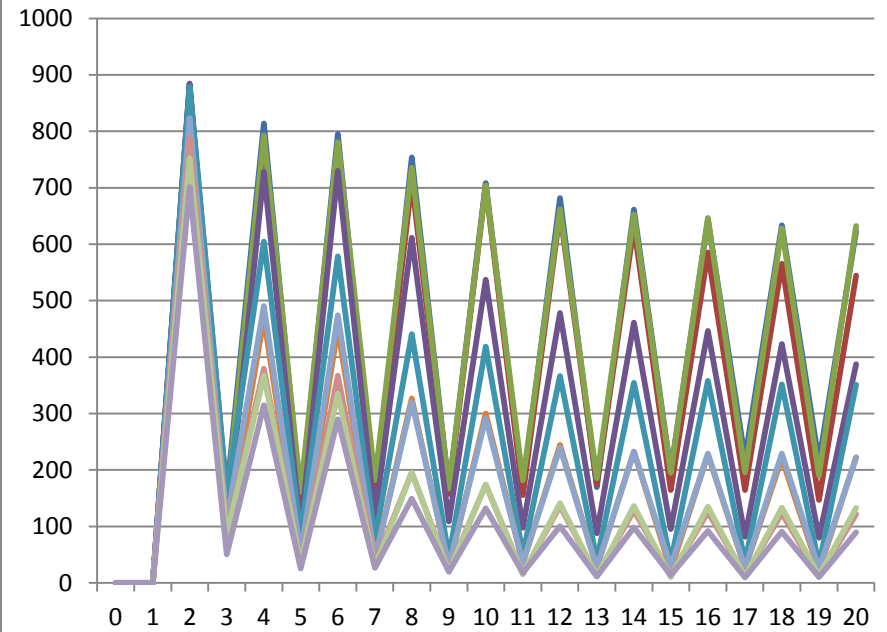
PANEL 2: impact of these new land regulations introduction patterns on the initial traditional land chief regulation

Level of rural activities initiated by user agents over time through land chief resource access rights when a new State land regulation is introduced



NewModelMay2014 class_stateUpdateValue: 1
 NewModelMay2014 class_stateUpdateValue: 11
 NewModelMay2014 class_stateUpdateValue: 21
 NewModelMay2014 class_stateUpdateValue: 31
 NewModelMay2014 class_stateUpdateValue: 41
 NewModelMay2014 class_stateUpdateValue: 51
 NewModelMay2014 class_stateUpdateValue: 61
 NewModelMay2014 class_stateUpdateValue: 71
 NewModelMay2014 class_stateUpdateValue: 81
 NewModelMay2014 class_stateUpdateValue: 91

Level of rural activities initiated by user agents over time through land chief resource access rights when a new local community land regulation is introduced



NewModelMay2014 class_localCommunityUpdateValue: 1
 NewModelMay2014 class_localCommunityUpdateValue: 11
 NewModelMay2014 class_localCommunityUpdateValue: 21
 NewModelMay2014 class_localCommunityUpdateValue: 31
 NewModelMay2014 class_localCommunityUpdateValue: 41
 NewModelMay2014 class_localCommunityUpdateValue: 51
 NewModelMay2014 class_localCommunityUpdateValue: 61
 NewModelMay2014 class_localCommunityUpdateValue: 71
 NewModelMay2014 class_localCommunityUpdateValue: 81
 NewModelMay2014 class_localCommunityUpdateValue: 91

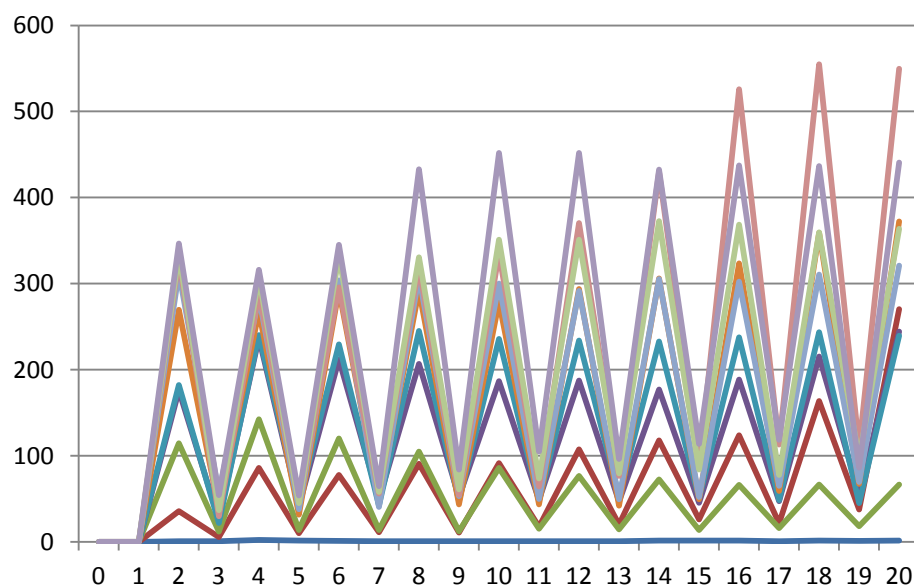
ATTACHED FIGURE C

FIGURE C

Contiguous-localized introduction pattern of a fixed intensity and a variable distribution of a new land regulation

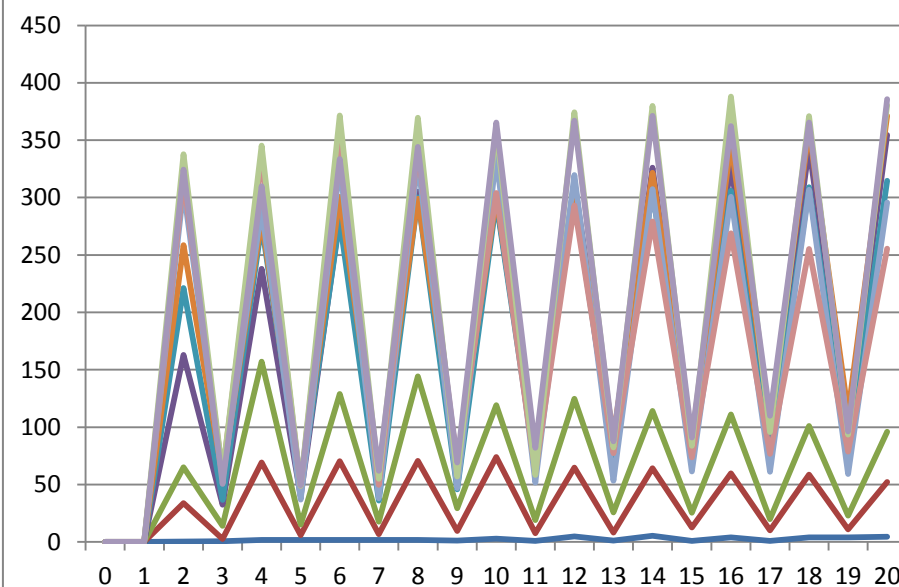
PANEL 1 : comparison of the diffusion of the State and Local Community new land regulations on the user agents rural activities

Level of rural activities initiated by user agents over time through state resource access rights



NewModelMay2014 class_numberOfStateUpdate: 1
 NewModelMay2014 class_numberOfStateUpdate: 11
 NewModelMay2014 class_numberOfStateUpdate: 21
 NewModelMay2014 class_numberOfStateUpdate: 31
 NewModelMay2014 class_numberOfStateUpdate: 41
 NewModelMay2014 class_numberOfStateUpdate: 51
 NewModelMay2014 class_numberOfStateUpdate: 61
 NewModelMay2014 class_numberOfStateUpdate: 71
 NewModelMay2014 class_numberOfStateUpdate: 81
 NewModelMay2014 class_numberOfStateUpdate: 91

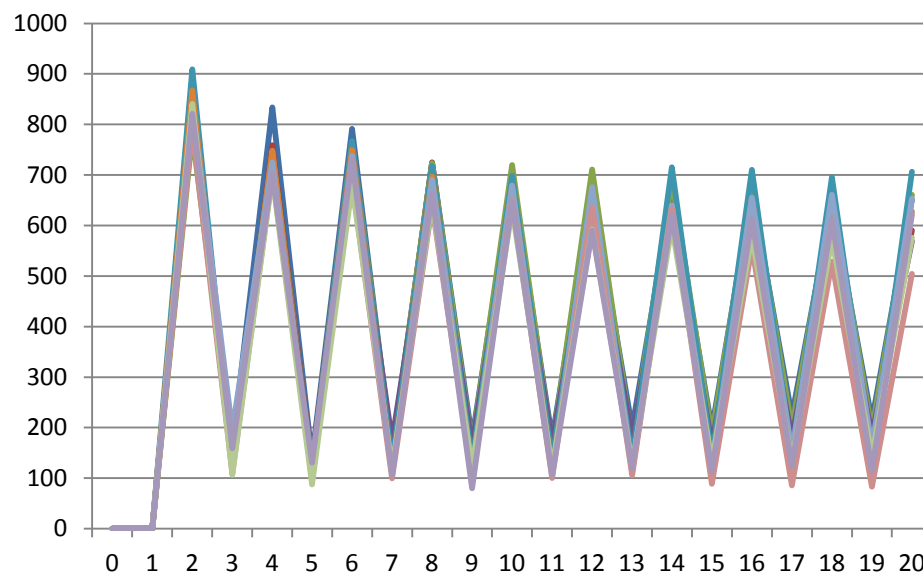
Level of rural activities initiated by user agents over time through local community resource access rights



NewModelMay2014 class_numberOfLocalCommunityUpdate: 1
 NewModelMay2014 class_numberOfLocalCommunityUpdate: 11
 NewModelMay2014 class_numberOfLocalCommunityUpdate: 21
 NewModelMay2014 class_numberOfLocalCommunityUpdate: 31
 NewModelMay2014 class_numberOfLocalCommunityUpdate: 41
 NewModelMay2014 class_numberOfLocalCommunityUpdate: 51
 NewModelMay2014 class_numberOfLocalCommunityUpdate: 61
 NewModelMay2014 class_numberOfLocalCommunityUpdate: 71
 NewModelMay2014 class_numberOfLocalCommunityUpdate: 81
 NewModelMay2014 class_numberOfLocalCommunityUpdate: 91

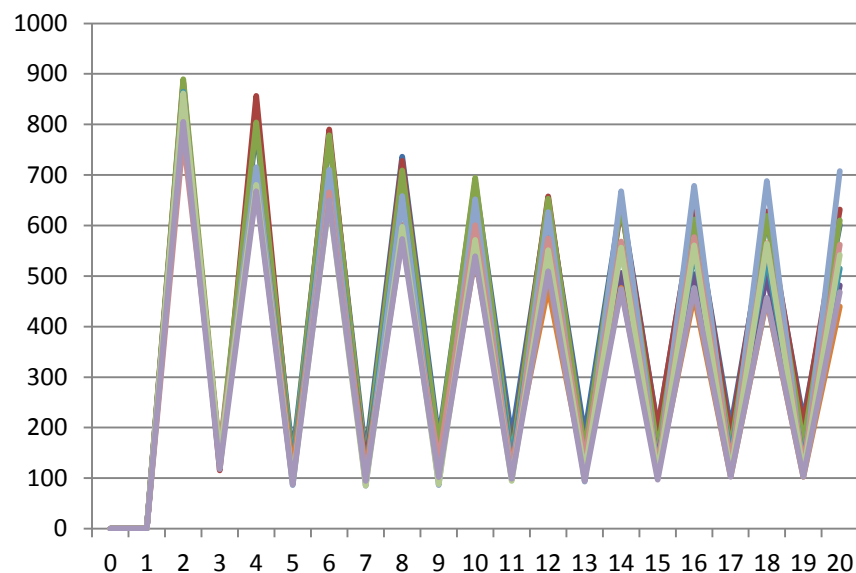
PANEL 2: impact of these new land regulations introduction patterns on the initial traditional land chief regulation

Level of rural activities initiated by user agents over time through land chief resource access rights when a new State land regulation is introduced



— NewModelMay2014 class_numberOfStateUpdate: 1
 — NewModelMay2014 class_numberOfStateUpdate: 11
 — NewModelMay2014 class_numberOfStateUpdate: 21
 — NewModelMay2014 class_numberOfStateUpdate: 31
 — NewModelMay2014 class_numberOfStateUpdate: 41
 — NewModelMay2014 class_numberOfStateUpdate: 51
 — NewModelMay2014 class_numberOfStateUpdate: 61
 — NewModelMay2014 class_numberOfStateUpdate: 71
 — NewModelMay2014 class_numberOfStateUpdate: 81
 — NewModelMay2014 class_numberOfStateUpdate: 91

Level of rural activities initiated by user agents over time through land chief resource access rights when a new local community land regulation is introduced



— NewModelMay2014 class_numberOfLocalCommunityUpdate: 1
 — NewModelMay2014 class_numberOfLocalCommunityUpdate: 11
 — NewModelMay2014 class_numberOfLocalCommunityUpdate: 21
 — NewModelMay2014 class_numberOfLocalCommunityUpdate: 31
 — NewModelMay2014 class_numberOfLocalCommunityUpdate: 41
 — NewModelMay2014 class_numberOfLocalCommunityUpdate: 51
 — NewModelMay2014 class_numberOfLocalCommunityUpdate: 61
 — NewModelMay2014 class_numberOfLocalCommunityUpdate: 71
 — NewModelMay2014 class_numberOfLocalCommunityUpdate: 81
 — NewModelMay2014 class_numberOfLocalCommunityUpdate: 91

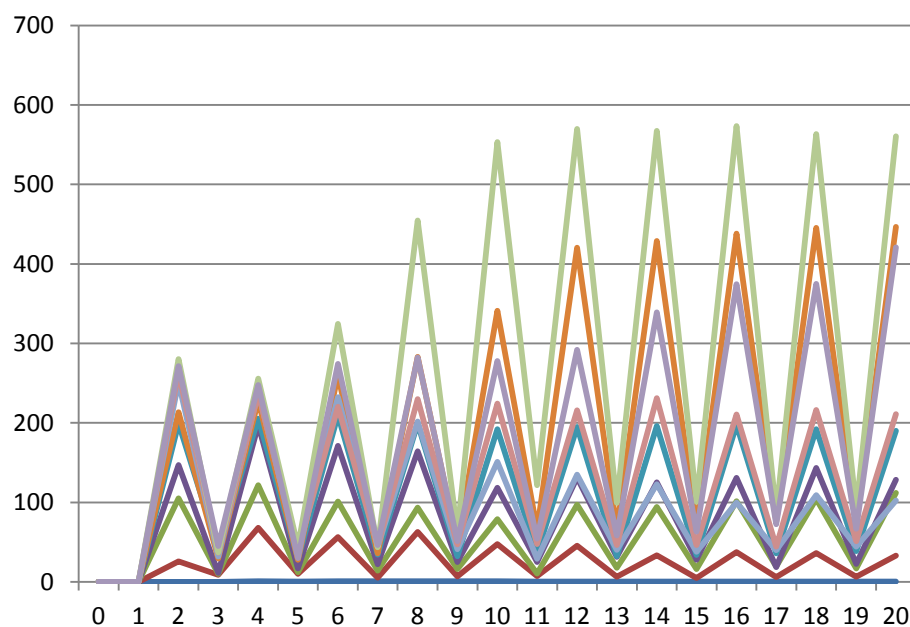
ATTACHED FIGURE D

FIGURE D

Contiguous-localized introduction pattern of a fixed distribution and a variable intensity of a new land regulation

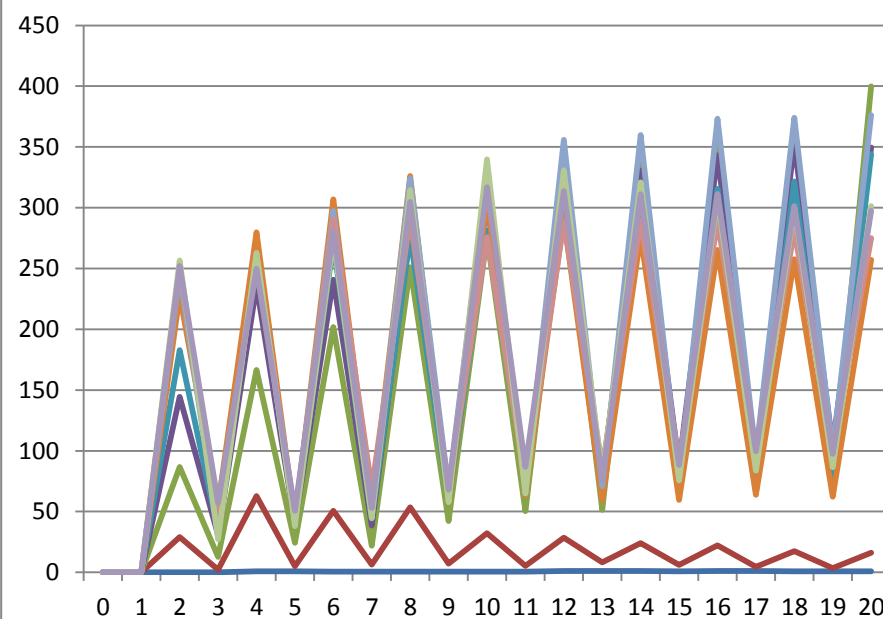
PANEL 1 : comparison of the diffusion of the State and Local Community new land regulations on the user agents rural activities

Level of rural activities initiated by user agents over time through state resource access rights



NewModelMay2014 class_stateUpdateValue: 1
 NewModelMay2014 class_stateUpdateValue: 11
 NewModelMay2014 class_stateUpdateValue: 21
 NewModelMay2014 class_stateUpdateValue: 31
 NewModelMay2014 class_stateUpdateValue: 41
 NewModelMay2014 class_stateUpdateValue: 51
 NewModelMay2014 class_stateUpdateValue: 61
 NewModelMay2014 class_stateUpdateValue: 71
 NewModelMay2014 class_stateUpdateValue: 81
 NewModelMay2014 class_stateUpdateValue: 91

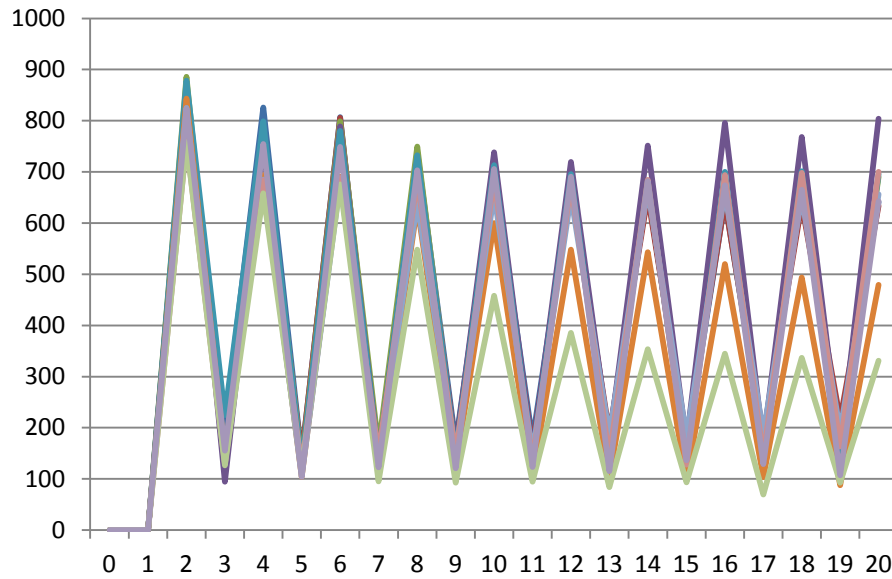
Level of rural activities initiated by user agents over time through local community resource access rights



NewModelMay2014 class_localCommunityUpdateValue: 1
 NewModelMay2014 class_localCommunityUpdateValue: 11
 NewModelMay2014 class_localCommunityUpdateValue: 21
 NewModelMay2014 class_localCommunityUpdateValue: 31
 NewModelMay2014 class_localCommunityUpdateValue: 41
 NewModelMay2014 class_localCommunityUpdateValue: 51
 NewModelMay2014 class_localCommunityUpdateValue: 61
 NewModelMay2014 class_localCommunityUpdateValue: 71
 NewModelMay2014 class_localCommunityUpdateValue: 81
 NewModelMay2014 class_localCommunityUpdateValue: 91

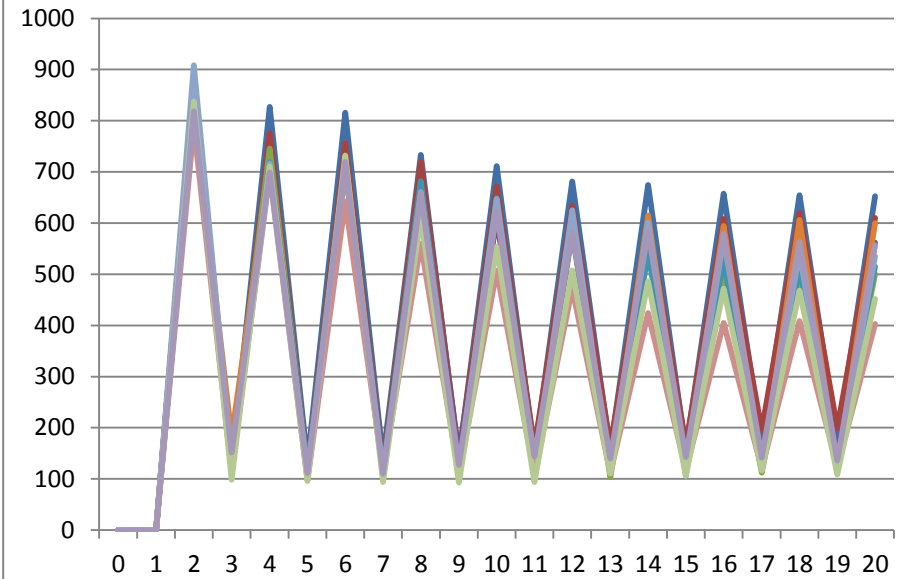
PANEL 2: impact of these new land regulations introduction patterns on the initial traditional land chief regulation

Level of rural activities initiated by user agents over time through land chief resource access rights when a new State land regulation is introduced



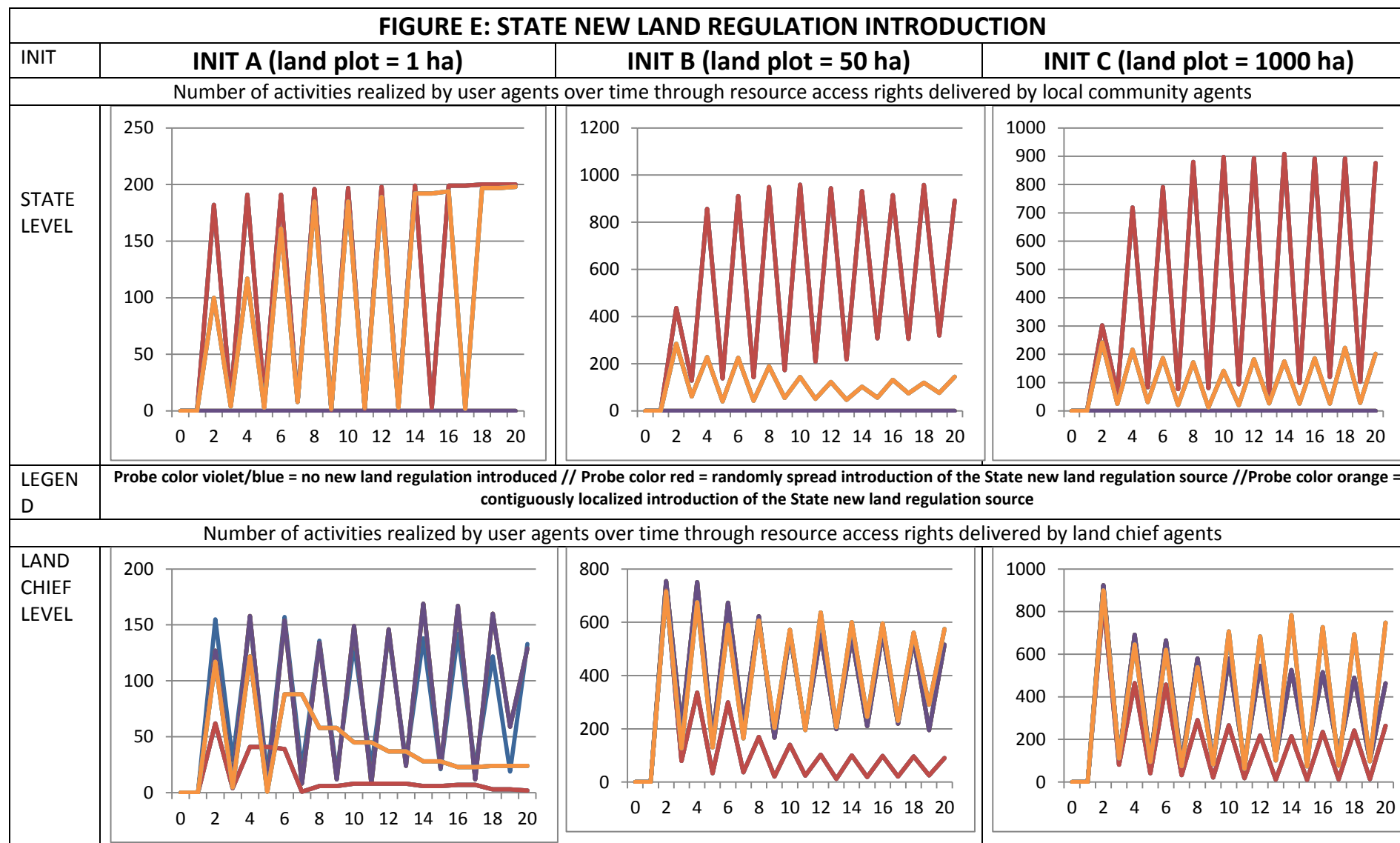
NewModelMay2014 class_stateUpdateValue: 1
 NewModelMay2014 class_stateUpdateValue: 11
 NewModelMay2014 class_stateUpdateValue: 21
 NewModelMay2014 class_stateUpdateValue: 31
 NewModelMay2014 class_stateUpdateValue: 41
 NewModelMay2014 class_stateUpdateValue: 51
 NewModelMay2014 class_stateUpdateValue: 61
 NewModelMay2014 class_stateUpdateValue: 71
 NewModelMay2014 class_stateUpdateValue: 81
 NewModelMay2014 class_stateUpdateValue: 91

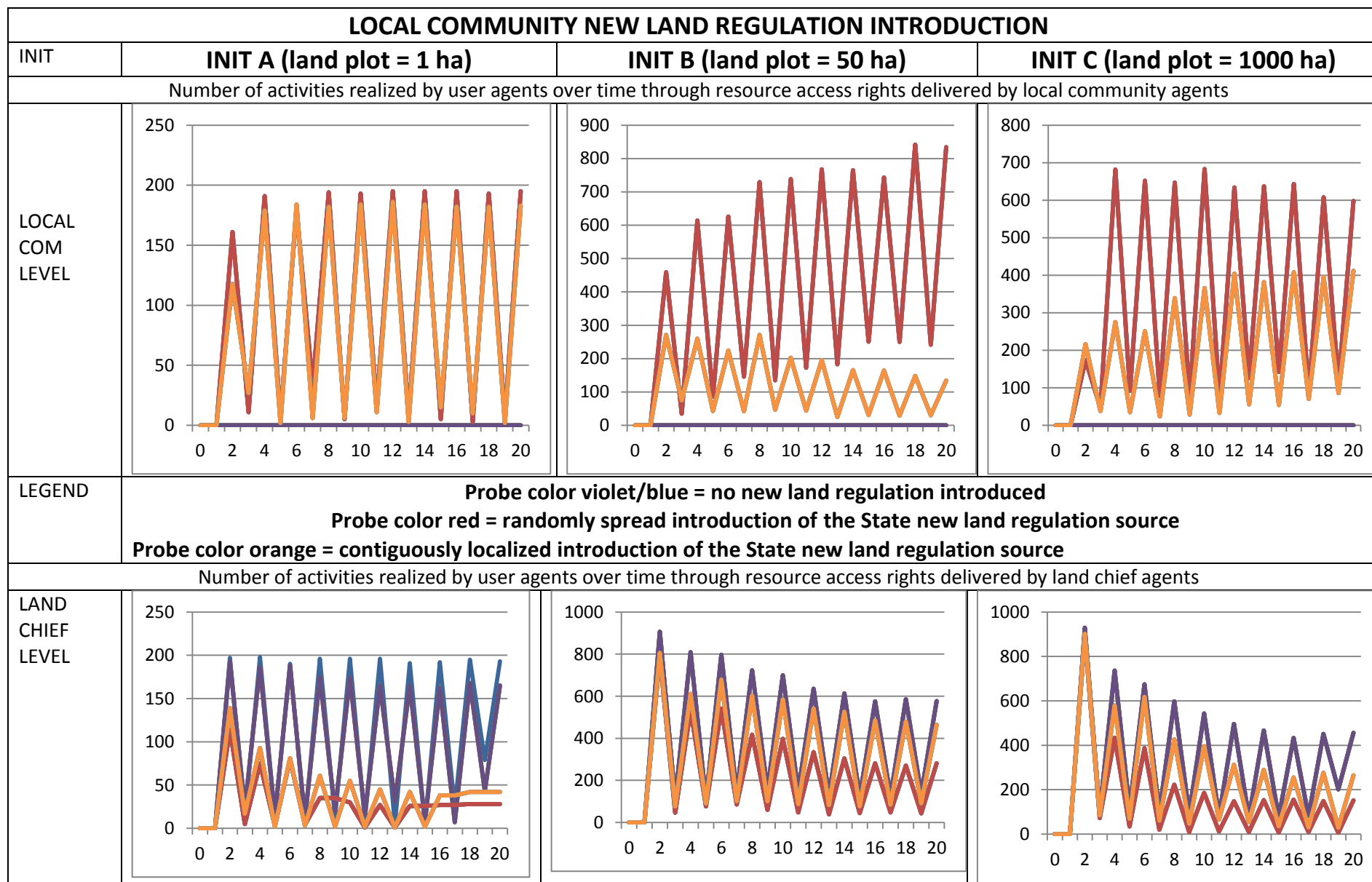
Level of rural activities initiated by user agents over time through land chief resource access rights when a new local community land regulation is introduced



NewModelMay2014 class_localCommunityUpdateValue: 1
 NewModelMay2014 class_localCommunityUpdateValue: 11
 NewModelMay2014 class_localCommunityUpdateValue: 21
 NewModelMay2014 class_localCommunityUpdateValue: 31
 NewModelMay2014 class_localCommunityUpdateValue: 41
 NewModelMay2014 class_localCommunityUpdateValue: 51
 NewModelMay2014 class_localCommunityUpdateValue: 61
 NewModelMay2014 class_localCommunityUpdateValue: 71
 NewModelMay2014 class_localCommunityUpdateValue: 81
 NewModelMay2014 class_localCommunityUpdateValue: 91

ATTACHED FIGURE E

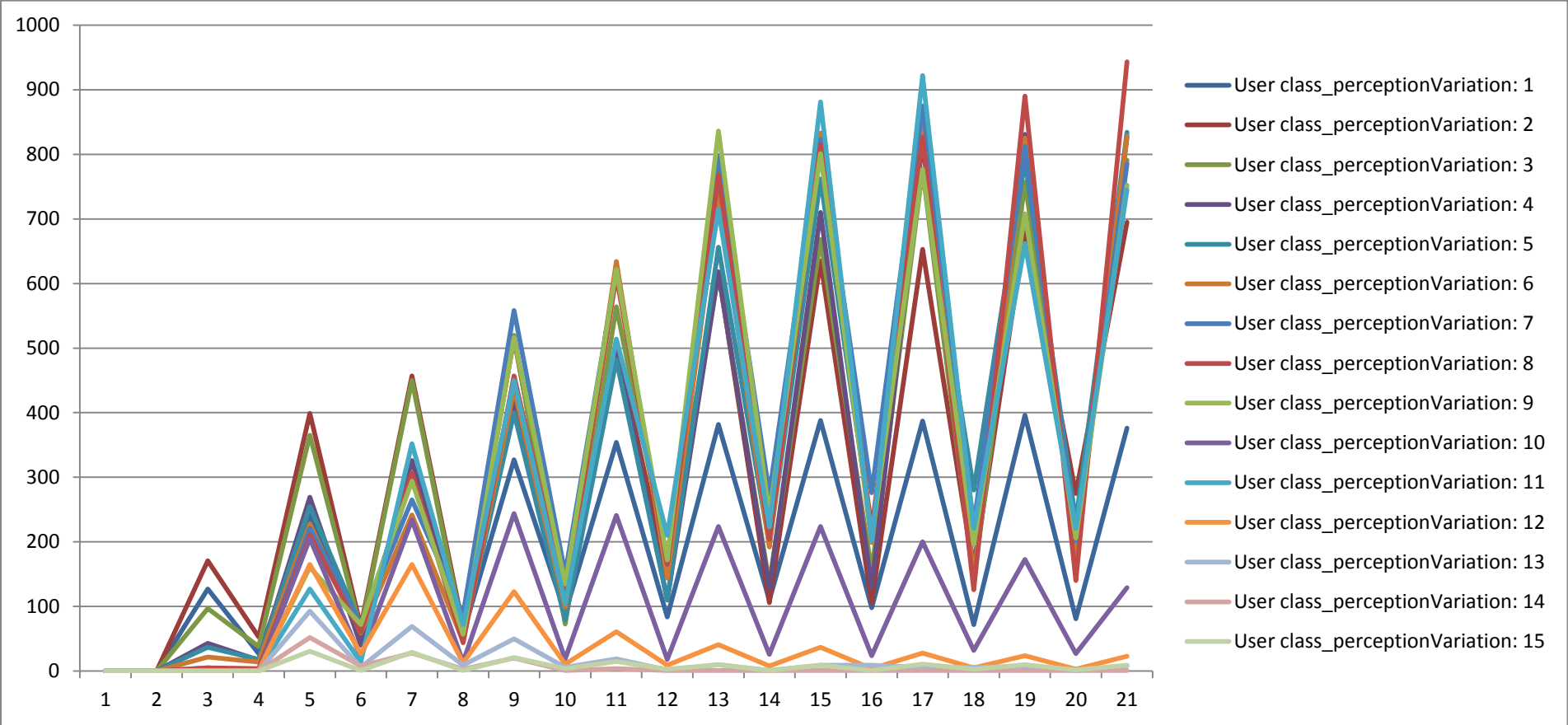




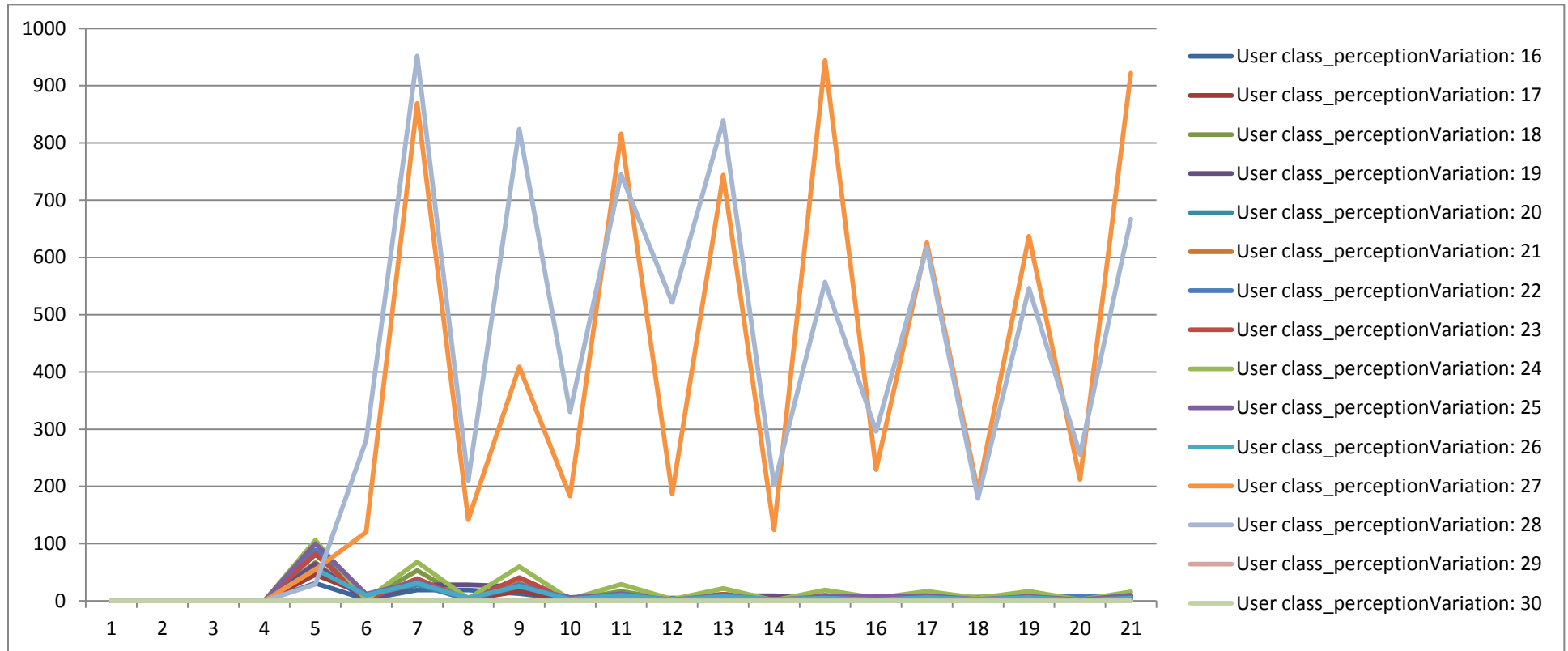
ATTACHED FIGURE G

SIMULTANEOUS RANDOMLY SPREAD INTRODUCTION OF THREE NEW LAND REGULATION SOURCES (INTENSITY VALUE: 30, NUMBER OF CONCERNED LAND PLOTS: 20)

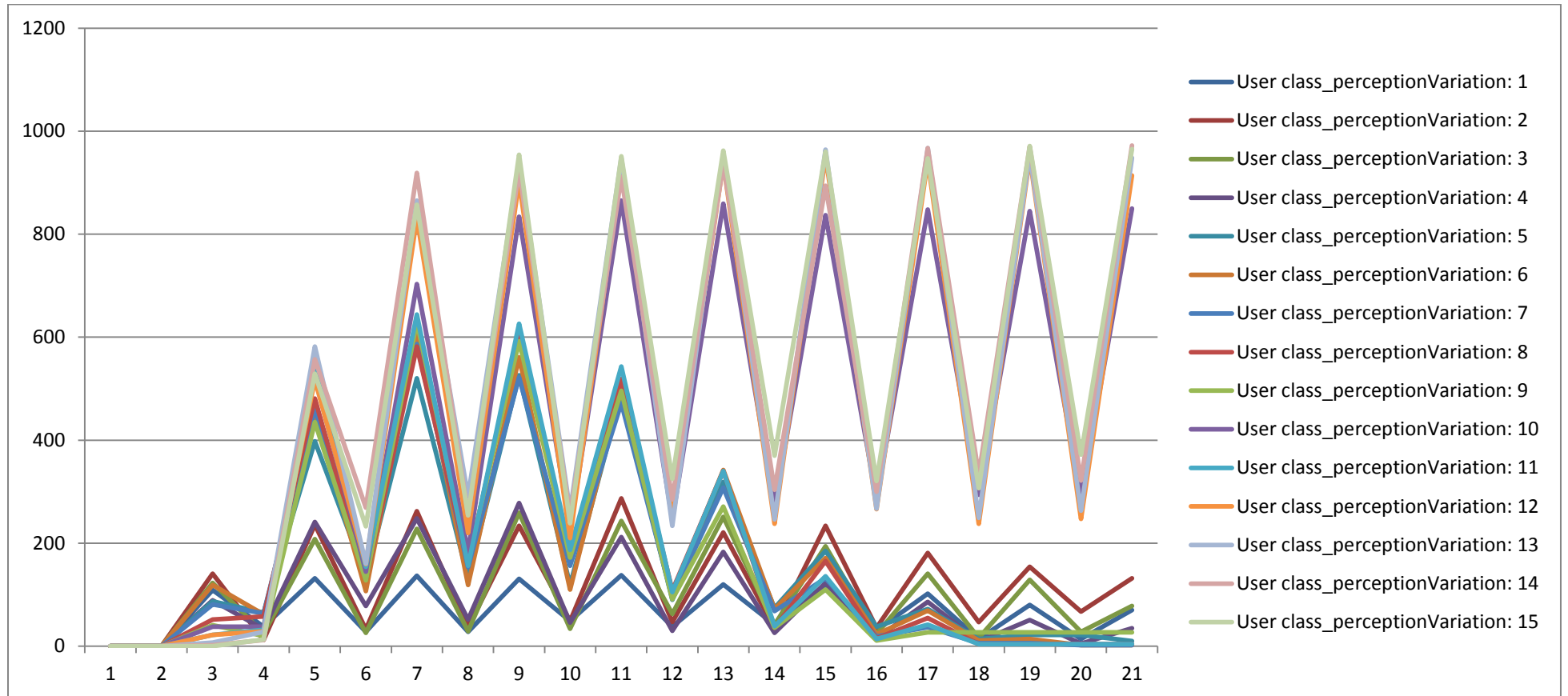
G.1 Number of activities realized by user agents through resource access rights delivered by local community agents, according to the value of user perception of natural resources and their regulations (for a value interval of 1-15).



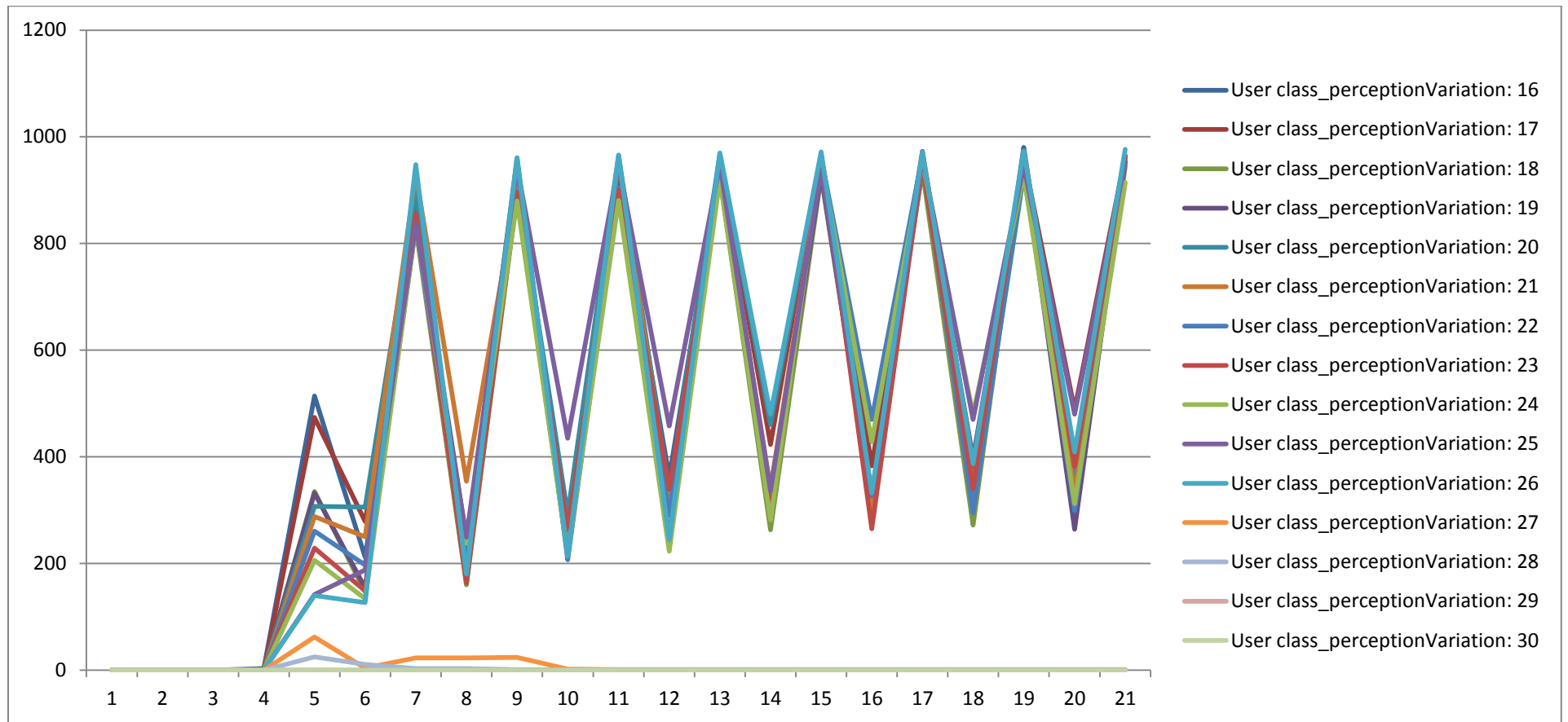
G.2 Number of activities realized by user agents through resource access rights delivered by local community agents, according to the value of user perception of natural resources and their regulations (for a value interval of 16-30).



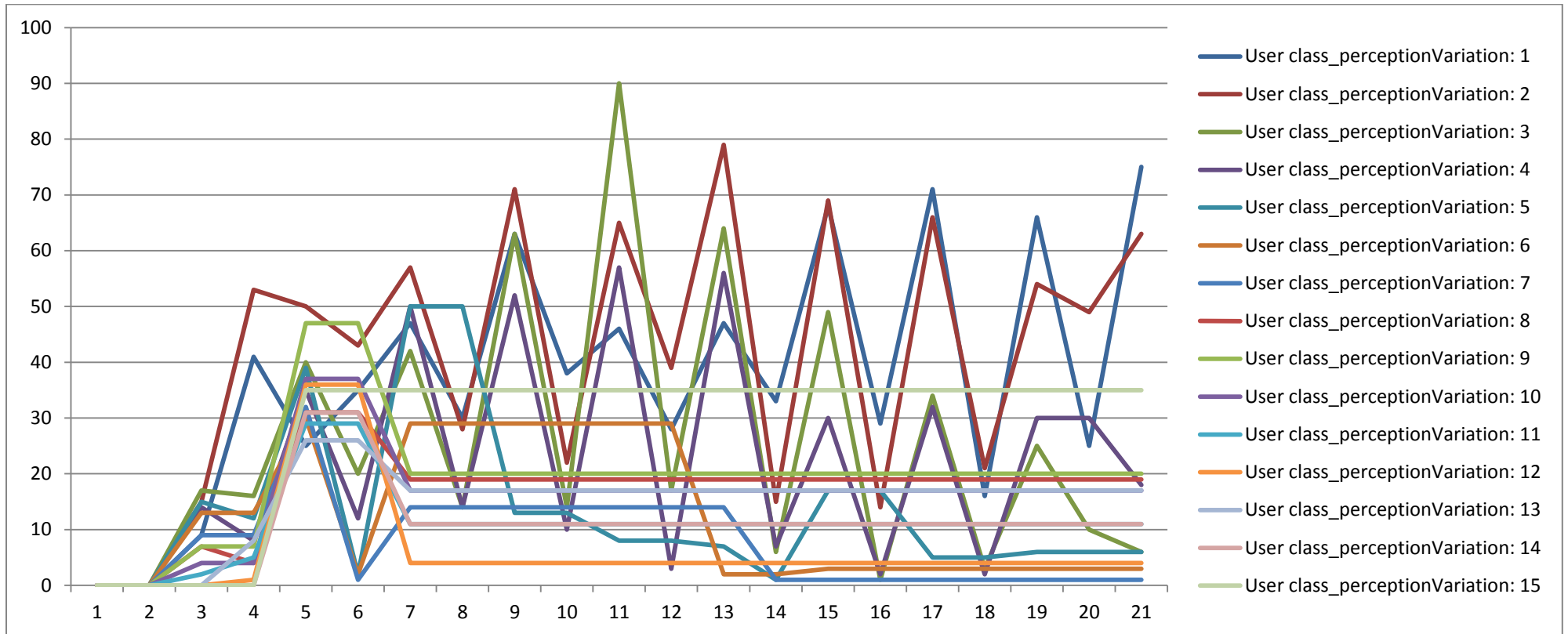
G.3 Number of activities realized by user agents through resource access rights delivered by the State agent, according to the value of user perception of natural resources and their regulations (for a value interval of 1-15).



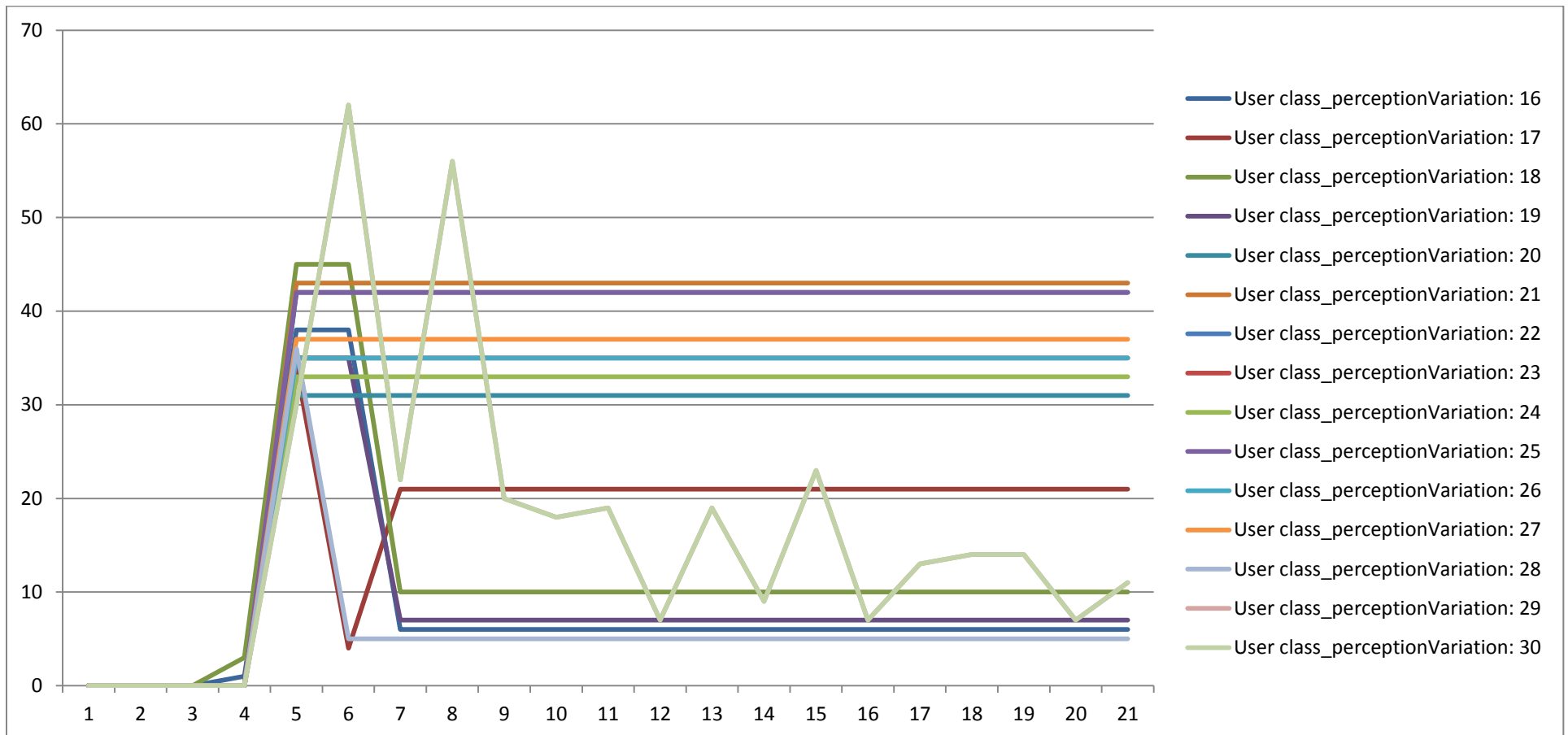
G.4 Number of activities realized by user agents through resource access rights delivered by the State agent, according to the value of user perception of natural resources and their regulations (for a value interval of 16-30).



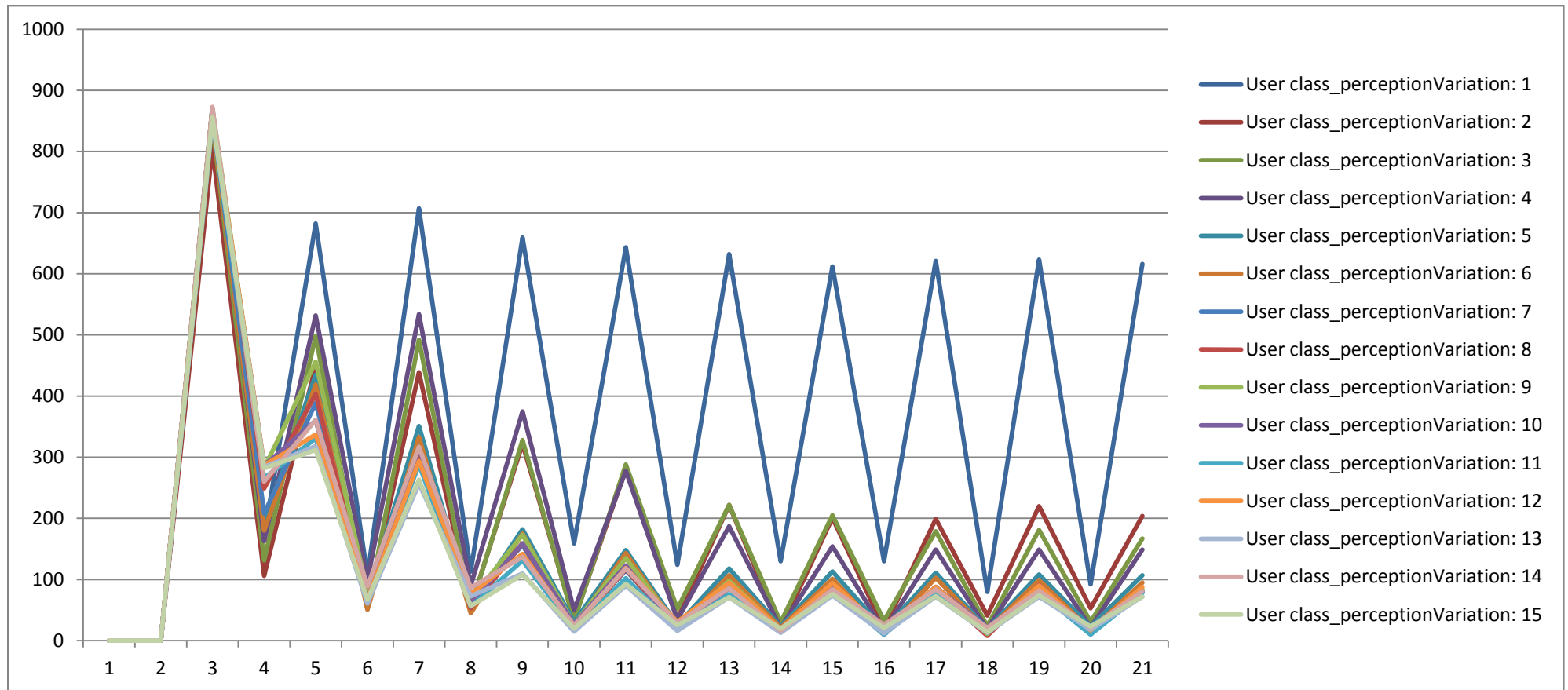
G.5 Number of activities realized by user agents through resource access rights delivered by user-regulator agents, according to the value of user perception of natural resources and their regulations (for a value interval of 1-15).



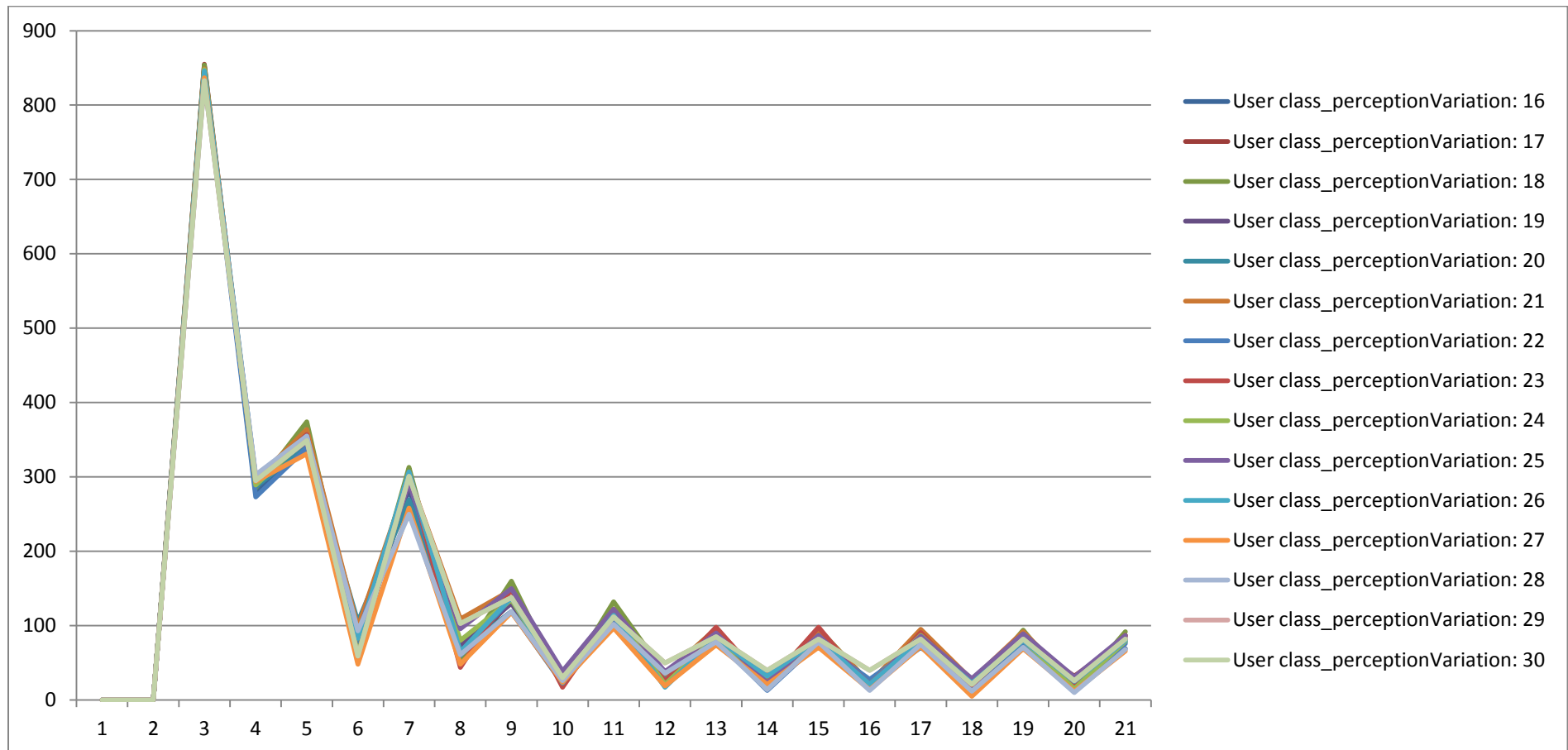
G.6 Number of activities realized by user agents through resource access rights delivered by user-regulator agents, according to the value of user perception of natural resources and their regulations (for a value interval of 16-30).



G.7 Number of activities realized by user agents through resource access rights delivered by land chief agents, according to the value of user perception of natural resources and their regulations (for a value interval of 1-15).



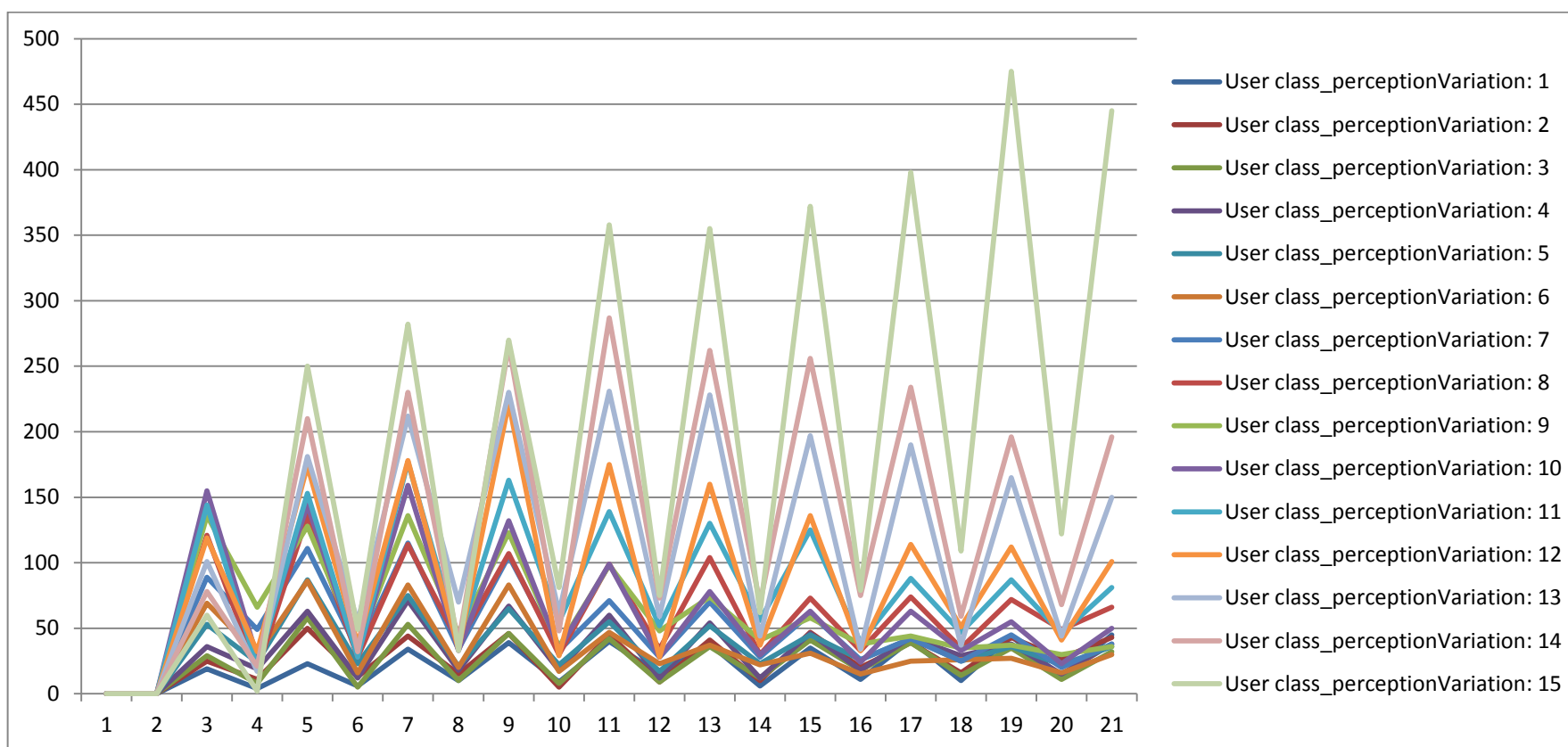
G.8 Number of activities realized by user agents through resource access rights delivered by land chief agents, according to the value of user perception of natural resources and their regulations (for a value interval of 16-30).



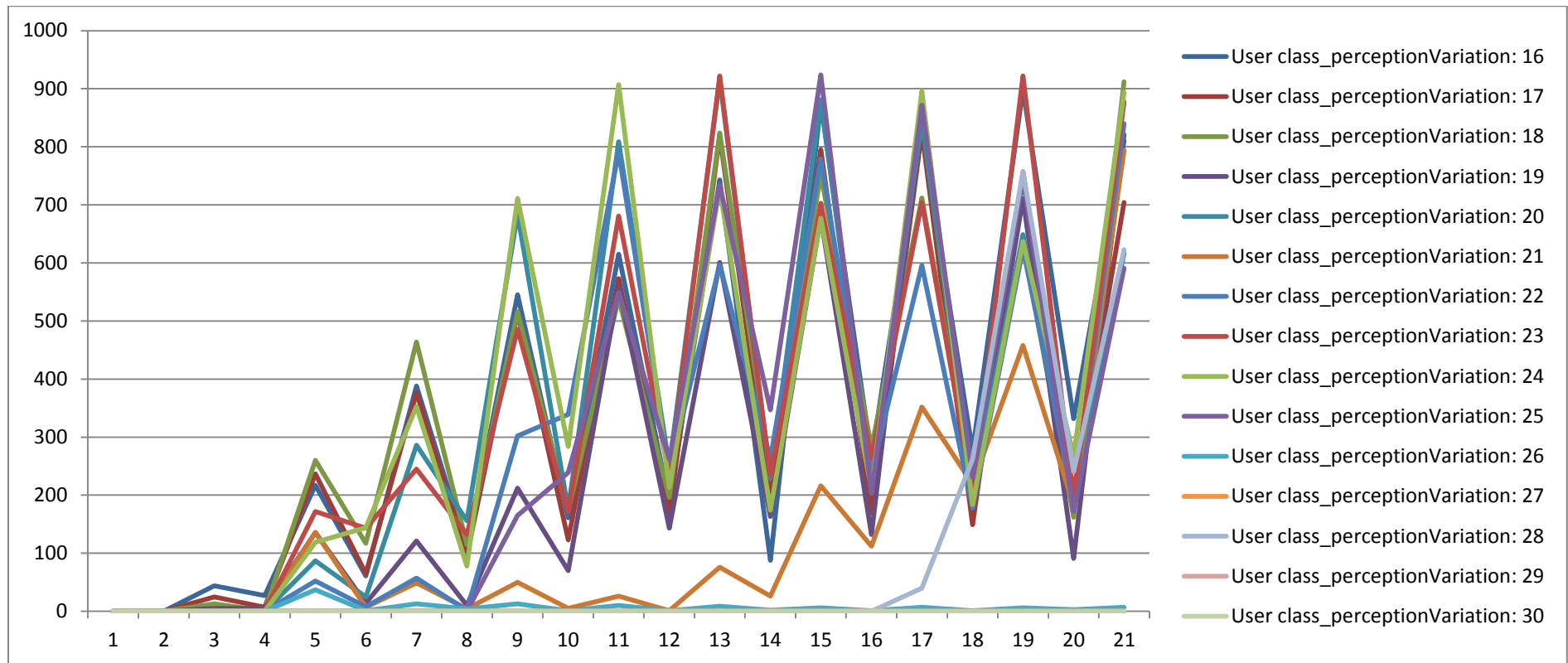
ATTACHED FIGURE H

SIMULTANEOUS CONTIGUOUSLY-LOCALIZED INTRODUCTION OF THREE NEW LAND REGULATION SOURCES (INTENSITY VALUE: 30, NUMBER OF CONCERNED LAND PLOTS: 20)

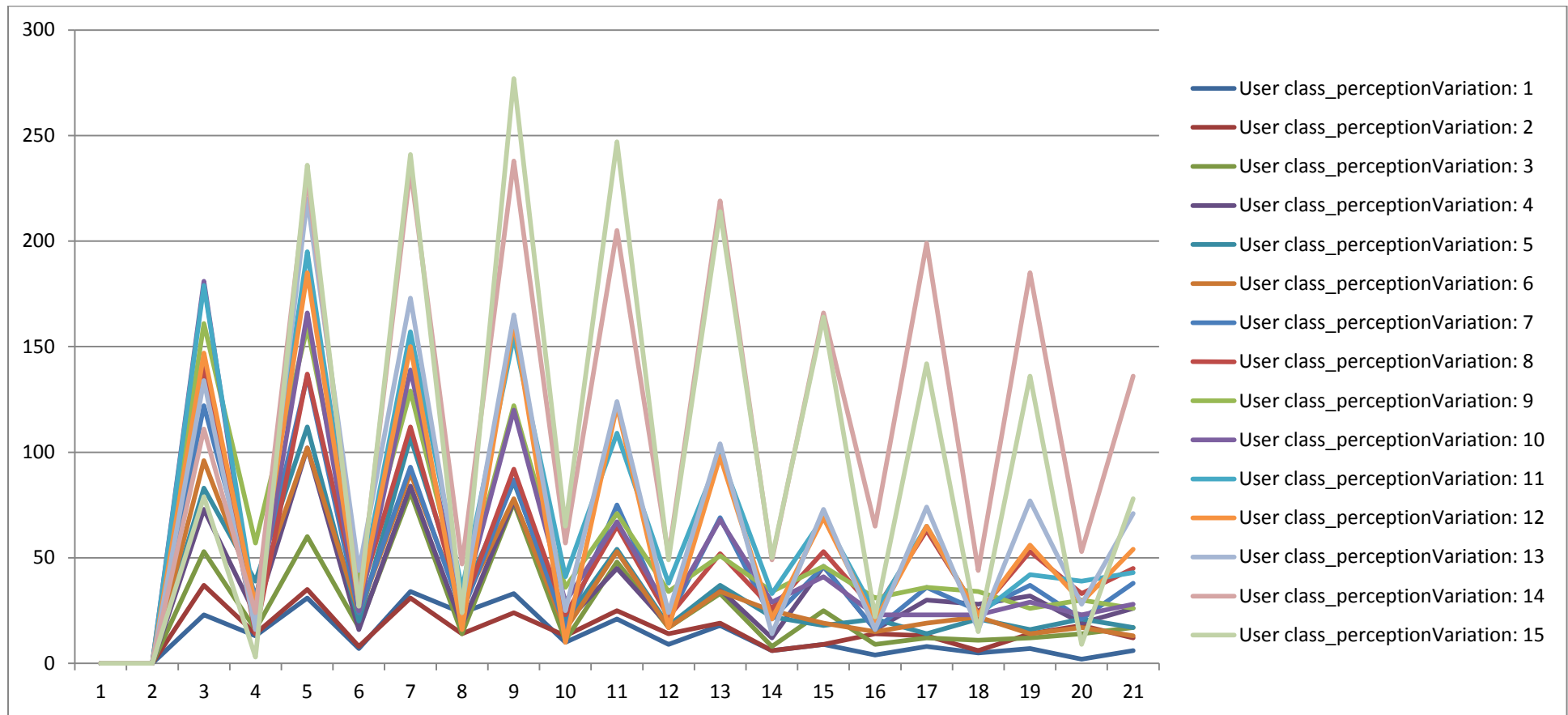
H.1 Number of activities realized by user agents through resource access rights delivered by local community agents, according to the value of user perception of natural resources and their regulations (for a value interval of 1-15).



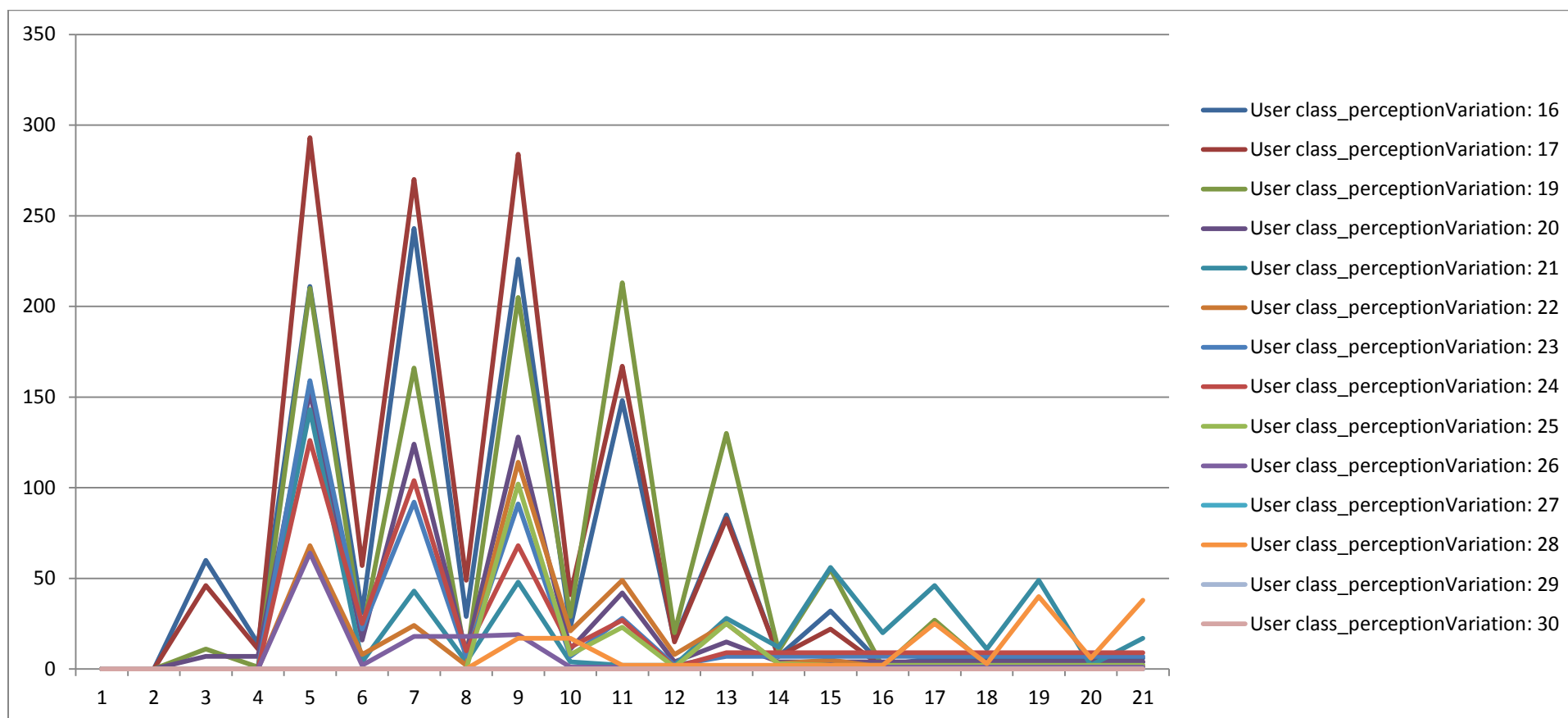
H.2 Number of activities realized by user agents through resource access rights delivered by local community agents, according to the value of user perception of natural resources and their regulations (for a value interval of 16-30).



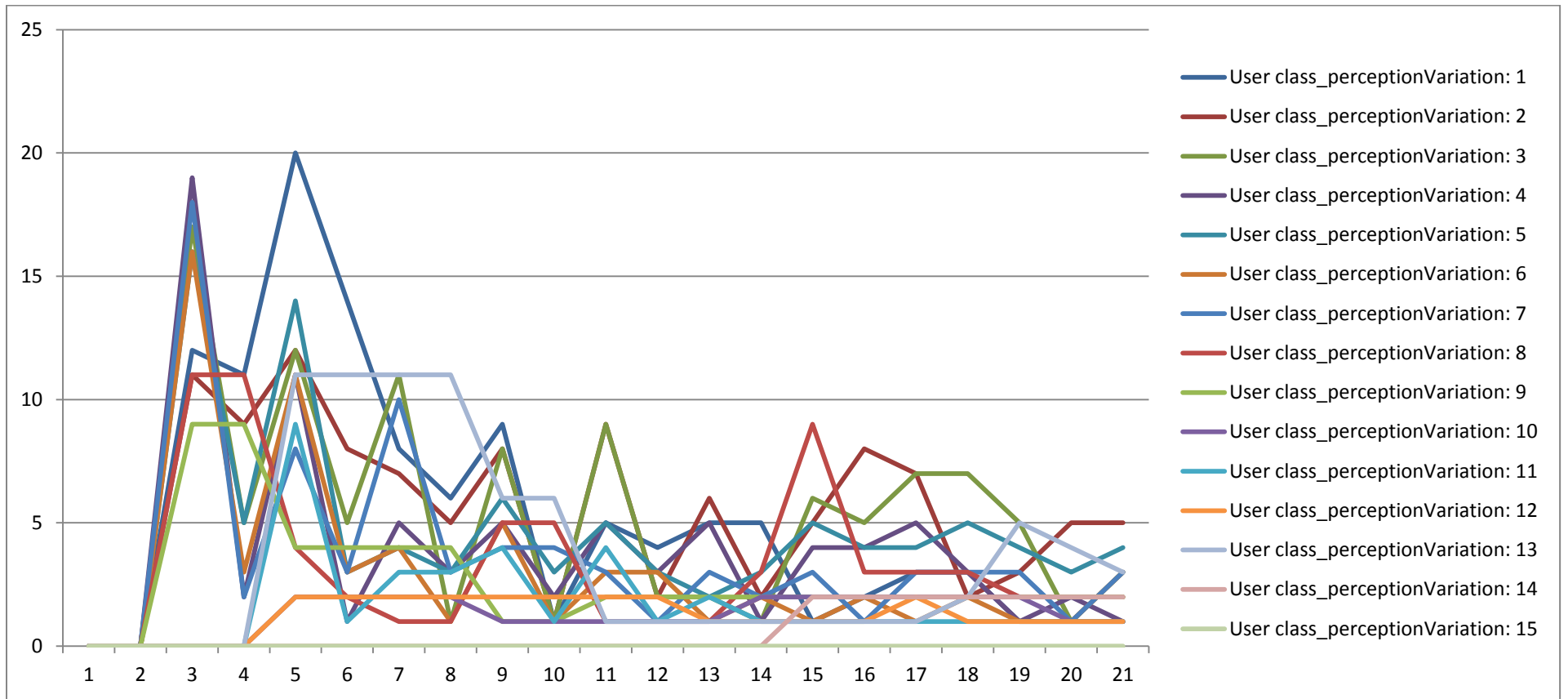
H.3 Number of activities realized by user agents through resource access rights delivered by the State agent, according to the value of user perception of natural resources and their regulations (for a value interval of 1-15).



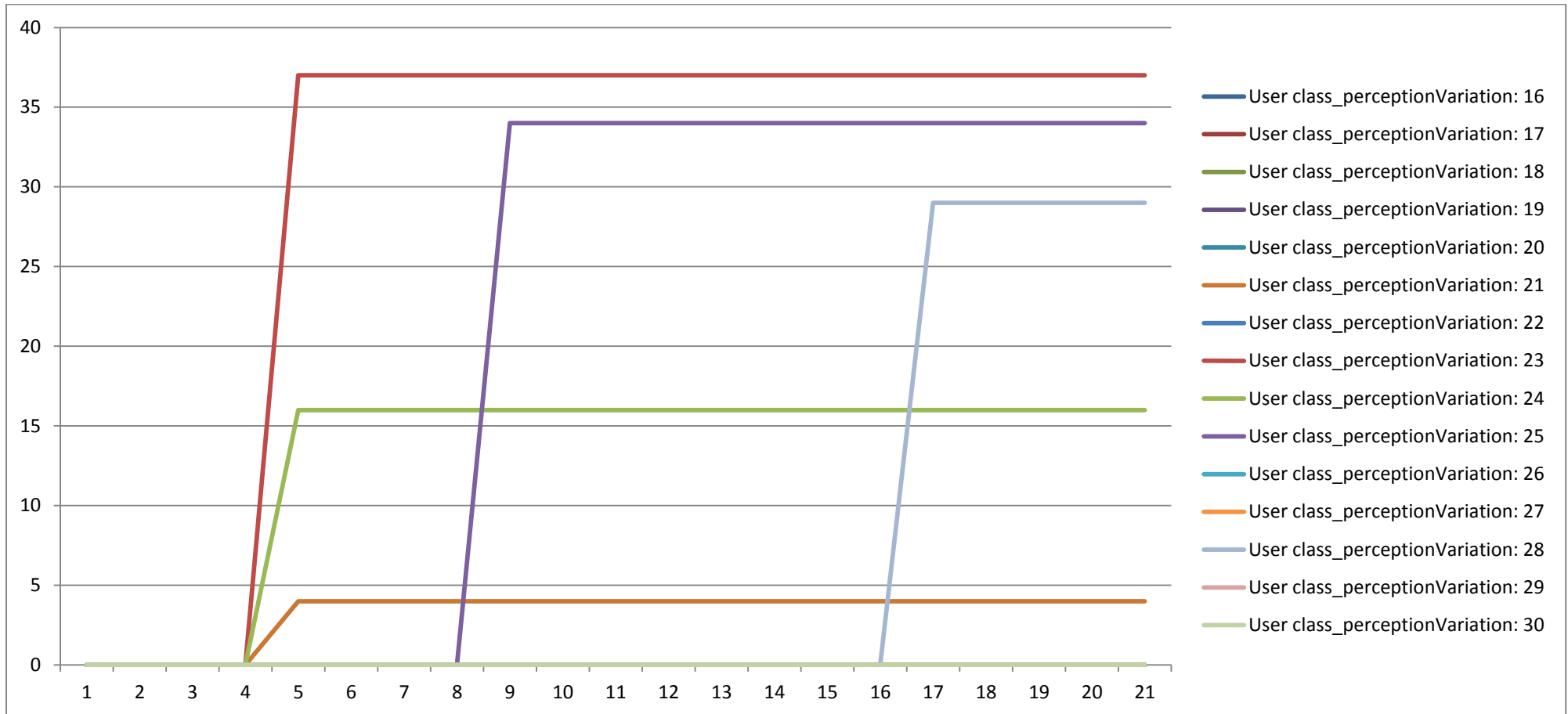
H.4 Number of activities realized by user agents through resource access rights delivered by the State agent, according to the value of user perception of natural resources and their regulations (for a value interval of 16-30).



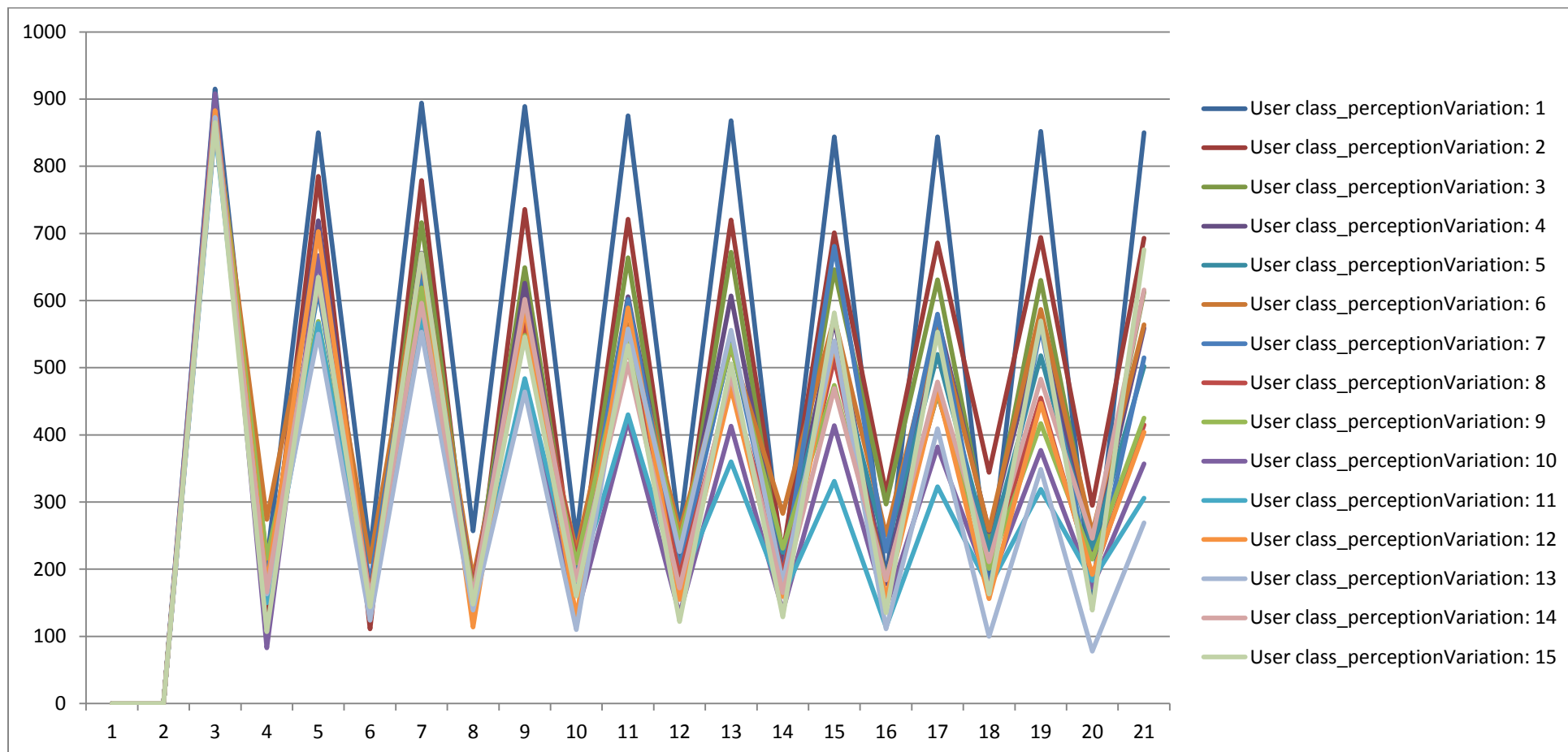
H.5 Number of activities realized by user agents through resource access rights delivered by user-regulator agents, according to the value of user perception of natural resources and their regulations (for a value interval of 1-15).



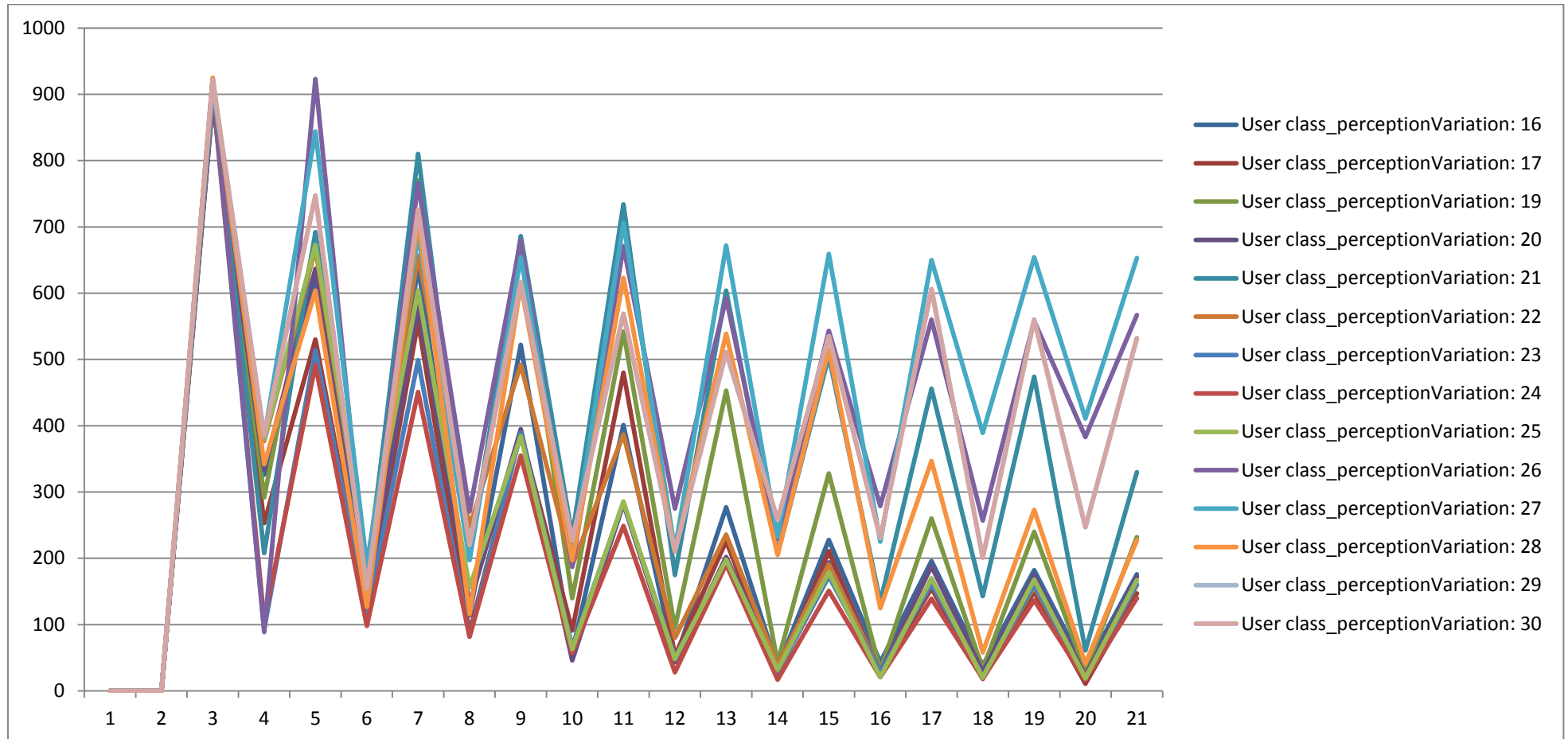
H.6 Number of activities realized by user agents through resource access rights delivered by user-regulator agents, according to the value of user perception of natural resources and their regulations (for a value interval of 16-30).



H.7 Number of activities realized by user agents through resource access rights delivered by land chief agents, according to the value of user perception of natural resources and their regulations (for a value interval of 1-15).



H.8 Number of activities realized by user agents through resource access rights delivered by land chief agents, according to the value of user perception of natural resources and their regulations (for a value interval of 16-30).



Annexe 3: The Sahelian plurality: a role-playing game on land tenure security diverse perspectives

Cette annexe est adaptée de l'article de revue :

Papazian H., d'Aquino P., Bourgoin J., Bâ A. The sahelian plurality: a role-playing game on land tenure security diverse perspectives, *Simulation & Gaming*, (sous examen).

Abstract

Previous research has shown that the land tenure situation in the Sahel region of Africa features an imbrication of norms and authorities mingling informal local practices and land laws. The purpose of this article is to test the reality and conditions of the local mobilisation and use of this plurality of land regulation sources. A companion modelling (ComMod) role-playing game experiment was conducted in two rural areas in Senegal considered to represent national diversity in terms of issues, tensions and uses that can be made of the land. The main results tend to confirm that in practice stakeholders rely on a 'portfolio' of sources of regulations on which they draw according to the context rather than on a single regulation reference that is recognised and applied by all. This flexible, elastic behaviour of Sahelian farmers with regard to the different regulation systems highlights the potentially great difference between profane local logic and the scientific way of organising the world. Simulation and gaming in as open a form as possible is a pathway to be followed and investigated in greater depth to enrich general knowledge using different ways of considering the world and, more specifically, of thinking in terms of adaptability to uncertainty.

Keywords: Decision-making; Dynamic; Companion Modeling (ComMod); Flexibility; Land regulation sources; Land tenure security; Land use; Land use policies; Local practices; Natural resources; Participation; Perception; Pluralism; Role-playing game; Sahel; Senegal; Stakeholders

1. Introduction

The land tenure situation in the Sahel region of Africa features an imbrication of norms and authorities, with a hinging of informal local practices [1] (nonetheless recognised and accepted by the population) and land law in which most of the territory remains state land. On the one hand, local populations make dynamic changes to local rules of land use and management to reduce uncertainty centred on the scarcity and the impossibility to forecast resources in the Sahel (Ellis et al. 1988, Thébaud 1990, Mehta et al. 1999). These collective rules display great flexibility, with great mobility of population to draw benefit from the extreme variety of the environment (Behnke and Scoones 1992) and management of natural resources based on the notion of common interests [2], with the aim of giving access to these resources to as many target groups as possible (Berkes et al. 1989, Ostrom 1990).

In parallel, as the land tenure policies set up by states do not recognise these local rules, they have used approaches to land tenure and ownership that are too different to the local context for it to be possible to remove them. The evolution of the land tenure situation in rural areas in the Sahel thus shows that these policies have finally accentuated the existing complexity (Bruce and Migot-Adholla 1994, Mehta and Leach 1999, Platteau 2003, Cotula 2012, Hall 2012). Indeed, rather than abandoning their practices, local populations have added the land tenure policies set up successively to their pre-existing sources of regulation.

A complex situation has emerged in which stakeholders mobilise—in different ways according to the local situation and the land use in question—the different sources of regulation that they consider are available to them: the basis of local regulation, present official regulations and even previous official regulations that are now obsolete (Metah et al. 1999, Hall 2012). Depending on the individual situation and the type of use planned, they thus make reference to different sources of land tenure regulation (von Benda-Beckham 1981, Cleaver 2002, Meinzen-Dick and Pradhan 2002).

We describe here the results of an experiment based on a role-playing game to test the reality and conditions of the local mobilisation and use of the different sources of land tenure regulation. Material and the first lines of reflection are therefore proposed for understanding the contexts in which will be inserted new land tenure policies set up by the Sahel states. Reflection on the reform of rural land tenure is currently in progress in several countries in Sub-Saharan Africa, including Senegal where the present research was conducted.

2. Methodological framework

2.1. Conceptualisation of the 'stakeholder-oriented' framework of analysis

The first land tenure policies applied successively remain as a series of sources of regulation that can still be used and still have legitimacy in the eye of stakeholders. The various present or past laws are thus interpreted and used—or not used—according to the needs and points of view of the stakeholders, who apply their own logic for action (Mehta and Leach 1999, Cotula 2012).

This pluralism (Griffiths 1986, Meizen-Dick and Pradhan 2002) is an informal but lasting feature adapting to different influences and external shocks. It does cause a certain uncertainty (Metah et al. 1999) that is difficult to grasp: different stakeholders make claim rights to the same land by referring to different regulatory sources. To help formalise this uncertain, flexible logic, we performed a direct conceptualisation of the stakeholders' points of view, respecting their perception of the different sources of regulation that can be used according to their own decisions. This is in a way a *stakeholder-oriented* conceptualisation framework.

This stakeholder-oriented conceptualisation framework led us to considering the various systems of rules as simple 'potential' sources of regulation. The term 'source' carries the idea that users make partial use of a set of rules and regulatory authorities with no systemic approach. It is not because a user decides at time *t* to use a particular authority or a particular regulation that he will necessarily adopt the entire functioning and logic of the system with which it is associated. Local stakeholders construct their own 'operation puzzle' by taking pieces for this from the different systems available to them. The puzzle changes as time goes by according to experience and local social interactions that modify the legitimacy of one regulation system or another, or rather of such and such a way of drawing a rule from a regulation system. The choice of stakeholder-oriented conceptualisation thus leads to a constructivist approach.

Starting from the twin observation (1) that a new land tenure policy is only a new source of regulation added to the existing pluralism (but which does not remove existing or prior sources of regulation) and (2) that the taking into account of any future new land tenure policy will be based on the interpretation and effective use made of it by the various stakeholders and not on its presupposed automatic application, it becomes interesting to examine users' criteria for deciding to call upon the different sources of regulation.

2.2. Using a role-playing game as an investigative method

We put forward the hypothesis that a role-playing game (RPG) is a good way of enhancing the expression of stakeholders' play with regard to the different sources of regulation. We therefore designed a role game for our work, as used in companion modelling (d'Aquino et al. 2003, Etienne et al. 2010). Here, an RPG is designed to invite players' realities, with the players being the stakeholders in the description of a context. The latter becomes the framework of the game in which they 'play' their practices freely (Barreteau et al. 2001, d'Aquino et al. 2003, Bousquet et al. 2003, Daré and Barreteau 2003, Barreteau et al. 2003a and b). Situations with tensions are then intentionally entered in the game but the way in which they are solved cannot be induced by the rules. The players must therefore call on their own knowledge and experience to solve the difficulties submitted to them either individually or collectively (d'Aquino and Bah 2013, 2014). Whatever the objective sought (assembling local knowledge, promoting awareness of a problem, validating a conceptual model, seeking agreement with regard to a conflict, futures prospects, etc.), RPGs are for many authors an interesting vehicle for the expression and collection of varied points of view of stakeholders in an action situation (Schelling 1960, Ostrom et al. 1994, Barreteau et al. 2007 etc.).

Our game was intended to test a hypothesis concerning the logic of implementation used by local populations to choose a basis of regulation among the various sources that they consider are available [3], together with the logic that could incite them to change regulation source according to

changes in the context. The user would use the source of regulation that made the most sense for each of the plots that he intended to use, given the context and the type of land use planned for the land. The same user can very well opt for a land tenure security based on oral seasonal rights regulated annually by the head of the village and, in parallel, seek another kind of land tenure security in the form of a written right issued by an official authority. Secure land tenure is therefore considered here as a sentiment, the fruit of a dynamic process that changes and adapts according to the conditions of a given context (Bruce and Migot-Adholla 1994, Cotula 2012).

2.3. Experimental protocol

The players—Sahelian resource users—are provided with a game board representing an area with fields in various landscapes and hence containing a variety of natural resources, and a range of possible sources of land tenure regulation, to be chosen by the player, for secure access to these natural resources. The player's aim is then access to and use of the plots in the area in a difficult environmental situation in order to give production and cover the needs of his family. The time step (equivalent to one game turn) is the cropping season. Participants are not given a specific role other than being a user of natural resources, and no initially prescribed rules of conduct. Actions and behaviour are left to the player and are just supported by a few basic rules to enable the simulation to be presented as a game. The parameters set for the game are those related only to the simplified representation of agro-ecological dynamics and the gradual introduction of scenarios that encourage the players to react and implement their logic of use of the pluralism in land tenure regulations.

The game board used thus represents the map of a typical Sahelian region (Figure 1) with different types of natural environment: fertile lowland, sandy intermediate dunes and degraded land. Each square represents a plot that the various players in the local community can use season after season and year after year by establishing different activities (crop farming, breeding, picking). The agro-economic potential depends on the type of environment and the rainfall of the year [4] and so the resources available for each plot (represented by black marbles) are not the same. The players' activities result in the collecting of a larger or smaller quantity of resource marbles (soil fertility, biomass, water) allowing them to estimate and compare production. Each player keeps the production units and then uses them later for his various expenditure (feeding his family, investing in his rural activities, etc.).

Three sources of regulation are available in the game:

- 'tradition', symbolising the rules for use and management established over the centuries by Sahelian populations under the authority of land chiefs. Here, these rules are in the form of oral access agreements negotiated at the beginning of each cropping season and that potentially allow the collective use of resources in the same piece of land;
- land allocation, authorisation of use of land awarded by the local community. This is the official rule in Senegal today;
- land title, private ownership awarded by the State. This exists in Senegalese law but is very rare in rural areas.



Figure 1: Experimental board for the role-playing game

These different sources of land regulations are entered in some of the different scenarios of the game by the facilitators (Figure 2). The aim of the game is also that of testing to what extent and under what conditions players can also use the various sources—with which they are familiar—without the facilitators suggesting them.

The initial gaming situation is thus as follows: the game board represent an area with rules applied by a land chief and the players distribute their activities in this area with uneven features with the prior tacit approval of the land chief. At the start, the players all have the same production facilities to realize their activities. The game has 6 rounds in the form of a succession of rainy season and dry season. Four identical game boards are each used by five players in order to enlarge and diversify our survey sample. The five players at each board operate in isolation from those of the other boards in order to limit bias and plays of interest.

To use the game context to test our hypothesis concerning the logic of populations in their choice of land regulation source, the facilitator feeds in situations referred to as 'scenarios' that can bring a user to consider his land tenure situation as weak to the extent of leading him to change the source of regulations used. Two possible causes of the perception of land fragility are tested: (1) too much pressure on resources, and (2) a type of activity that requires substantial investment. Indeed, the perception of land tenure security can be affected by the nature of the rural activity performed (Bruce and Migot-Adholla 1994).

Two types of pressure are fed into the game as the first cause of land tenure fragility to be tested: (1) the saturation of the resources available and (2) the 'closing' of the area (Figure 2). In the first scenario, pressure is applied without changing the land tenure rules that operate initially by default. The facilitator feeds in resources saturation by adding on plots areas an increasing number of activities (crop farming, breeding and picking). These pastilles are presented to the players as fictitious players who are descendants of the members of the community and who are old enough to start their own activities and thus participate in the saturation of the resources available. In the

second scenario (closing of the area), pressure is added by adding other sources of regulations to the initial land tenure regulations: new fictitious players, persons belonging to the community, mobilise new sources of regulations to gain the use of plots (land allocation or land title depending on the scenario). Post-it notes symbolising these land-holding statuses (yellow for land allocation and pink for land title) are placed on the plots (Figure 1). This creates a gradual closing of the zone and so less land is available. These pressures are applied in two steps: 10% land saturation in the third round of the game and 30% in the fifth round.

Furthermore, distinction is made between the two pressure scenarios depending on whether pressure is applied at random throughout the game board environment, whatever the type of environment, or locally in lowland land—the most fertile areas. The aim is to judge if the higher the value of the resources, the more interest is shown in it by the various users, making the need for control of access greater.

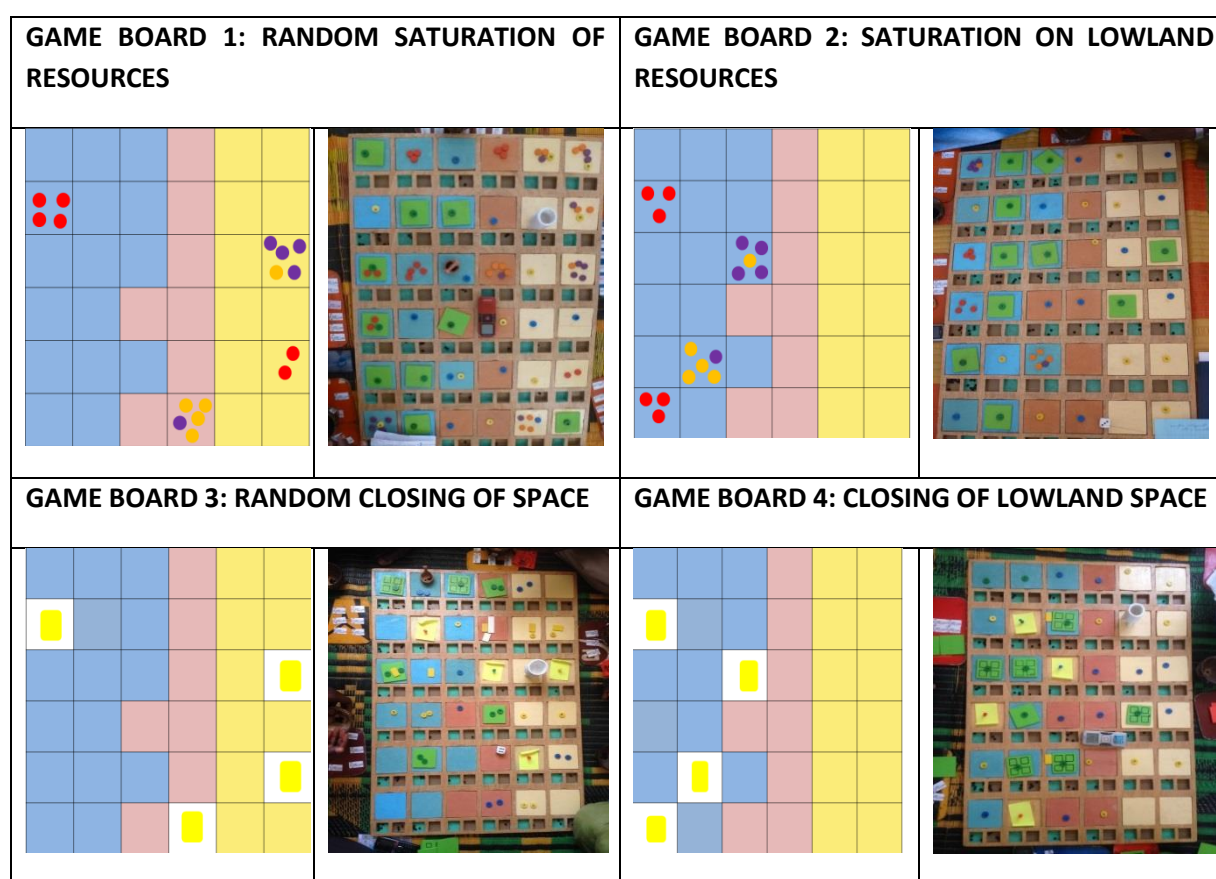


Figure 2: Calibration of the first application (in round 3) of pressure on space and resources

The second cause of perception of fragility of land tenure to be tested concerns the investment required for the concerned rural activity. Scenarios for testing this hypothesis are therefore introduced in the game. From round 2 and the first dry season, each player can invest in creating water points [5]. This reduces the strong dependence on annual rainfall and makes activity more intensive. Then in the fourth round a drilling is installed in land with low value-added (sandy and degraded environments) but where the new availability of water considerably increases their agro-economic potential, giving it greater value on condition that funding is sufficient to develop an irrigated activity. Finally, at the beginning of the third round of the game, an 'investor' scenario is played: extra production units (marbles) are assigned to one of the players—chosen at random—and

this considerably changes his investment capacity. We then observed the decisions that this player takes for enhancing the security of his land tenure.

The first five rounds are thus similar, with the only changing feature being the nature and location of the pressure applied (Figure 2). These five rounds are intentionally linear to better target the factors that explain the choice of land tenure regulation made by the various players. In contrast, the last round of the game leaves the facilitator the choice of land tenure pressure/regulation that is simulated in round six, depending on the results of the first five rounds on his game board (Table 1). Debriefing sessions are held for this for each game board at the end of each round. This generates collective reflection and a clarification of the vision of the different players. These sessions enable the participants to put forward hypotheses and to formulate ideas for solutions that the facilitator of each board can decide to use as a scenario for the last round of the game.

Table 1: Succession of game scenarios (DS = dry season / RS = rainy season)

| ROUND | SCENARIO APPLIED |
|--------------|--|
| ROUND 1 (RS) | Introduction of 'traditional' land tenure regulation |
| ROUND 2 (DS) | Introduction of the possibility of investing in water points |
| ROUND 3 (RS) | Introduction of an 'investor' player chosen at random and who receives an extra 30 marbles Introduction of pressure land or resources on the various game boards (10% saturation of the land) |
| ROUND 4 (DS) | Introduction of a drilling event as part of a development project, localized in a sandy environment. Access to water is permanent (in return for funding) for the plots around the drilling. |
| ROUND 5 (RS) | Generalisation of pressure on areas and resources on the various game boards (30% saturation of the land) |
| ROUND 6 (DS) | <i>Open scenario applied by the facilitator according to the evolution of the game on his board</i> |

The protocol was designed so that players would draw on their own knowledge and experience. The role game was tested in two rural areas in Senegal considered to represent national diversity in terms of issues, tensions and uses that can be made of the land. The two zones differ in their degree of integration of intensive farming, accompanied by a more pronounced appearance of official sources of land tenure regulation in the users' practices for access to land. The two participating workshops, each with 20 players (5 players per board) were set up in the villages of Sinthiou Bamambé in the Ferlo sylvo-pastoral area and Guia, in the developed part (mostly irrigated) of the river Senegal valley.

3. Results

3.1. Results of the workshop in the sylvo-pastoral zone with small potential for the intensification of farming

3.1.1. Proposed game scenarios for round 6

One of the first results of the workshop involved the choice of scenario chosen by the facilitators of each game board for the sixth and last round of the game after the first five similar rounds. On the first game board, where land tenure regulation was 'traditional' from the beginning, the facilitator finally chose to award dominance to land tenure allocation (30% saturation of the area). On boards 3 and 4 the facilitators chose to replace certain land tenure allocations (yellow papers) by land tenure titles (pink papers) (saturation in LT: 10%).

The debriefing periods for board 2 resulted in the formulation of scenarios by players after a collective explanation session. The facilitator thus chose to use these proposals for the scenario of round 6. Responding to population growth resulting in a substantial decrease in crops and incomes, the players at board 2 concluded that it was important to shift their activities to higher areas with less pressure, even though this land was less fertile, and to leave the saturated lowland to the new arrivals.

3.1.2. Changes in stakeholder' practices according to changes in the initial context

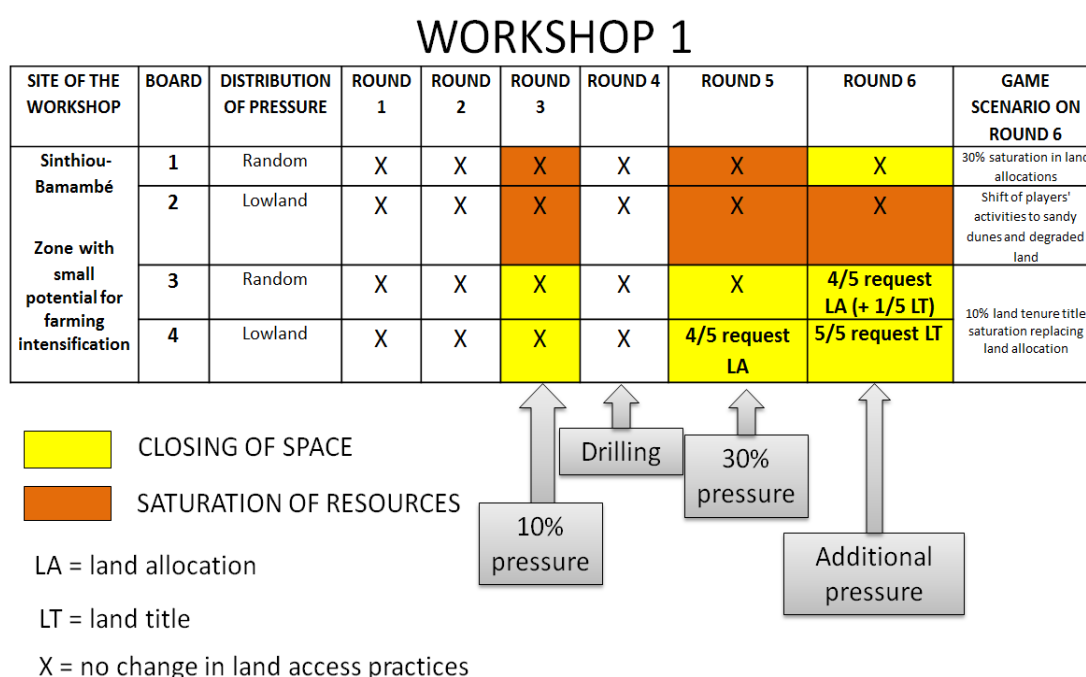


Figure 3: Synthesis of the results at the workshop in Sinthiou Bamambé

The results of the first workshop show that informal local land tenure regulation remains a safe priority for land users as they do not seek to change access to land in their approach, even in the case of strong pressure on land (boards 1 and 2). The players do not consider that this type of security slows investment, whatever the activity. The players thus invest individually or grouped in water points and in the farming of land around the water points. They consider that this type of security is

satisfactory—and this includes 'investor' players who have been given the means for more substantial investment.

Pressure on land and resources only introduced in round 3 does not cause changes in stakeholders' practices. When pressure reaches maximum in round 5, changes in practices differ according to the context available to the players. In contexts in which 'traditional' regulation applies (boards 1 and 2), the players do not change the source of land tenure security even when other sources such as land allocation are finally introduced as a dominant feature (board 1, round 6). The players prefer to shift their activities geographically to try to optimise the use of resources in a situation of increasing pressure (the usual strategy in this difficult environment). In the contexts in which new sources of land tenure regulation become dominant (boards 3 and 4), most players finally request the dominant type of tenure security (first allocation and then titles to land). They act all the more quickly when only the most fertile land is targeted by allocations (board 4, round 5).

3.2. Results of the workshop in the Senegal river valley where the potential for the intensification of farming is great

3.2.1. Proposed game scenarios in round 6

The results of the second workshop show that the discussion period among players did not result in the formulation of scenarios that the facilitator decided to use, except for board 2. On this latter, round 6 took the form of the displacement of fictive new arrivals to high, less fertile land while the players were allocated fertile lowland. Here, the participants themselves chose to use a new form of land tenure regulation—land allocation—without its prior introduction by the facilitator. In workshop 1, in the same context the players of board 2 had proposed strategies of geographic shifting of activities in the hope of maximum optimisation of the use of the resources under increasing pressure; but their strategies did not include changes in the land tenure regulation sources called upon.

Round 6 scenarios for the three other game boards were decided directly by the facilitators and alternated between the introduction of land allocation (board 1) and land titles (boards 3 and 4) with a greater or lesser degree of saturation.

3.2.2. Changes in stakeholders' practices according to changes in the initial context

Player behaviour was similar to that of the first workshop but the pressure thresholds beyond which the players changed the sources of land tenure regulation used were attained more rapidly. Thus while the initial sources of regulation set up were not changed (boards 1 and 2), the players invested and performed here too their activities without seeking another source of land tenure security. In contrast, unlike the case of workshop 1, as soon as the nature of pressure on land changed and featured land allocation in round 6 the players on the same boards chose unanimously to adopt this to respond to the dominant pressure (board 1) or even introduced this new sources of land tenure regulation themselves (board 2).

WORKSHOP 2

| SITE OF THE WORKSHOP | BOARD | DISTRIBUTION OF PRESSURE | ROUND 1 | ROUND 2 | ROUND 3 | ROUND 4 | ROUND 5 | ROUND 6 | GAME SCENARIO ON ROUND 6 |
|--|-------|--------------------------|---------|---------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|---|
| Guia Zone with strong potential for farming intensification | 1 | Random | X | X | X | X | X | 5/5 request LA | 10% saturation in land allocations |
| | 2 | Lowland | X | X | X | X | X | 5/5 request LA | Move new arrivals to the least fertile zones and allocate land to the players in fertile low land |
| | 3 | Random | X | X | X | 1/5 requests LA | 5/5 request LA | 5/5 request LT | 30% saturation in LT replacing land allocation |
| | 4 | Lowland | X | X | 1/5 requests LA | X | 5/5 request LA | 5/5 request LT | 10% saturation in LT replacing land allocation |

CLOSING OF SPACE
 SATURATION OF RESOURCES

LA = land allocation
 LT = land title
 X = no change in land access practices

Figure 4: Synthesis of the results at the workshop in Guia

In addition, as soon as land tenure allocation was introduced, it was used directly by 'investor' players from round 3 onwards and then by all the players on the board when the closing of space caused by land allocation became dominant in round 5. When land allocation was changed into titles to land, the players chose this new form of regulation unanimously.

The difference in results between the workshop in a sylvo-pastoral zone and in that in the irrigated zone shows that participants react more and change their logic of access to resources more rapidly in a zone where land tenure tensions are dominant, where the perception of land tenure security is already more fragile and where the official sources of land tenure regulation such as allocation and land titles are present. In contrast, in contexts in which the official sources of regulation have little hold the so-called 'traditional' sources of regulation remain a sufficient guarantee of security for stakeholders to the point at which they invest in their rural activities on the basis of these so-called customary rights. As has been shown in much research, neither private property nor a formal status are an essential condition for investments by African farmers (Bruce and Migot-Adholla 1994, Wade 1998, Lavigne Delville 2007).

4. Discussion

The reality that we have sought to illustrate and analyse in this article is that of pluralism in 'stakeholder-oriented' land tenure regulation as it exists today in rural areas of Senegal. The main results tend to confirm that beyond what the State decides to recognise as a standard and incorporates in the legal corpus of society, land tenure stakeholders consider that different sources still exist. The result in land tenure regulation is that in practice stakeholders rely on a 'portfolio' of sources of regulations on which they draw according to the context rather than on a single regulation reference that is recognised and applied by all. This pluralism in regulation takes a dynamic, differentiated form depending on what provides the best security for land tenure for stakeholders in a given context.

The flexible, elastic behaviour of Sahelian farmers with regard to the different regulation systems highlights the great difference that there can be between profane local logic and the scientific way of organising the world. It is thus very delicate to transcribe this profane logic in a framework of scientific formalisation. Any transcription—in the form of a model for example—carries the risk of freezing as set rules what is in fact changing and adapting continuously with the evolution of the context and interactions between stakeholders. Making a fixed formal representation of these logics would remove the most innovative feature of these practices: the individual capacity to adapt continuously without remaining in a set framework. This collective coordination of changing individual practices seems vague and almost intangible to an outside observer.

Considering this 'stakeholder-oriented' pluralism in regulation no longer as a pathological feature that should be removed but as the normal result of social and political dynamics might make it possible to achieve more effective, fairer and finally more sustainable management of natural resources. The question of the formalisation of this 'stakeholder-oriented' pluralism in regulation and the potential forms of its incorporation in a public policy then becomes a major issue as any recording of complex rights is necessarily a simplification of complex, dynamic realities (Abbot et al. 1998, Colin et al. 2010).

Simulation and gaming in as open a form as possible thus make an ideal tool for the identification and transcription of these practices and logics without distorting them. When it remains very open and 'fuzzy', gaming is a facility for expression that is *free enough for players to develop logics and modes of perception of the world that remain different from those of the designer of the game*. Meanwhile, however, the game is close enough to its designer for him to grasp the meaning and logic of the actions undertaken by the players and therefore gain better understanding of what initially appeared to be vague and disorganised. The experiment described above clearly illustrated this advantage of open gaming for improving our understanding of logics that are foreign to our way of considering regulations.

Our world is based increasingly on intercultural exchange and this simulation and gaming in an extremely open and flexible form—with hardly any 'rules of the game'—is a pathway to be followed and investigated in greater depth to enrich general knowledge using different ways of considering the world and, more specifically, of thinking in terms of adaptability to uncertainty.

5. Conclusion

In recent decades, the combining of modelling and gaming has made it possible to approach complex systems for the use and management of natural resources in a more flexible way, in particular by allowing more effective integration of the points of view of different types of users and managers (Etienne 2010). This methodological pathway has also resulted in a gradual evolution of the perception by scientists and model-makers of profane logics, their advantages and their relevance. Today, participative modelling has become common in numerous scientific disciplines. Gaming has achieved respectability as a tool for scientific modelling. Already considered as a *serious* mode of expression in profane circles, it has been recognised gradually as a pertinent mode of expression in the scientific world. It is now becoming possible to install it as a tool for dialogue and formalisation between these different conceptions of the world.

NOTES

[1] Informal insofar as it is not official, hence not a positive right recognised by the State.

[2] In an intermediate sense resulting from a constant balance between individual and collective interests.

[3] This hypothesis is based on 200 interviews conducted in Senegal from March 2011 to August 2013 in the Senegal River valley zones and the Ferlo sylvo-pastoral zone with a range of stakeholders (farmers, livestock farmers, crop and livestock farmers, immigrants, natives, women, young people, heads of villages, rural advisors, sector administration, state ministries, etc.).

[4] The sole aim of the very simplified rainfall dynamics is to emphasise the conditions in the Sahel in terms of great variability and uncertainty, with a ratio of 1:10 for precipitation from one year to another and also in the same year from one plot to another as rainfall is extremely local.

[5] Three types of water point are proposed, with the most productive being those requiring the greatest investment.

Annexe 4: Lexique d'un foncier « orienté-acteurs »

Acteurs (usagers/régulateurs) : individu « agissant » directement ou indirectement sur les ressources foncières. L'acteur usager cherche à y accéder et les utilise là où l'acteur régulateur/l'instance ou autorité régulatrice les gère, suivant des logiques d'action respectives qui leur sont propres et qui varient d'un acteur à l'autre.

Appropriation d'une ressource / théorie des maîtrises foncières : maîtrise que l'on a sur la ressource, qui peut être temporaire, prioritaire, spécialisée, exclusive, et enfin absolue (et c'est uniquement dans ce cas que l'on parle de propriété privée). En fonction de la nature des droits qu'un usager a sur une ressource, et ce que qu'ils lui permettent de faire (voir faisceau de droits), il s'en dégage un certain statut pour l'usager (accédant spontanée, ayant-droit (par le prêt, la location...), possesseur, propriétaire...) et une certaine forme d'appropriation de la ressource (Le Roy 1996, Le Roy 2011).

Dominance/Prédominance d'une régulation : règle(s) et/ou instance(s) régulatrice(s) les plus mobilisées (qu'elles soient officielles ou pas) par les usagers d'un espace rural donné pour accéder et sécuriser leur accès à une ressource.

Faisceau de droits : le concept de faisceau de droits traduit le fait qu'il n'existe pas un droit sur la terre, mais des droits (d'user, d'administrer, de transférer, etc.), sur différents objets (terre, arbre, PFNL...), susceptibles d'être revendiqués par différents individus (individuels ou collectifs) et sous le contrôle d'autorités variées (chef de famille, autorité coutumière, autorité étatique...). Un faisceau de droits peut comprendre : le droit d'accès, le droit de prélèvement/d'usage; le droit de tirer un revenu de l'usage; le droit d'investir, d'apporter des améliorations à la ressource foncière; le droit de déléguer l'usage de la terre à titre provisoire ou sans terme spécifique, à titre marchand (location, métayage, rente en travail) ou non marchand (prêt); le droit de mettre en gage; le droit d'aliéner définitivement, sous forme de transfert marchand (vente) ou non marchand (donation); enfin, les « droits d'administration », ou « droits de définir les droits des autres » : contrôle des droits des autres relativement à l'usage, la délégation, l'investissement, le fait de tirer un profit, d'aliéner... L'étendue de ces différentes composantes du faisceau de droits s'apprécie au regard des restrictions qui pèsent sur eux : restrictions temporelles, spatiales, restrictions dans l'usage, ou encore nécessité de demander un accord avant d'exercer un droit (Le Bris et al. 1991, Schlager et Ostrom 1992, Weber et Reveret 1993, Mehta et al. 1999, Ribot et Peluso 2003, Colin 2004, Jacob 2007,...).

Foncier (rural) / Ressources foncières / Ressources (naturelles): le foncier peut couvrir la flore, la faune, et les systèmes hydrauliques tant qu'ils sont associés à un espace de terre. On considère le terme foncier comme englobant l'ensemble des ressources (terre, eau, végétaux etc.) susceptible d'un usage.

Informel : au sens de ce qui ne relève pas de l'officiel/légal, donc du droit positif reconnu par l'Etat.

Modèle / grille de lecture / vision : conceptualisation de la réalité, « vue de l'esprit » analytique incomplète et partielle (comprenant des caractéristiques de la réalité qui nous intéressent en particulier) que nous nous créons en fonction de nos perceptions pour permettre une représentation

simplifiée d'un processus et la compréhension et traduction d'un ensemble de phénomènes qui possèdent entre eux certaines relations, sans lien de causalité univoque.

Conceptualisation : Action de conceptualiser/modéliser consistant à abstraire la complexité de la réalité pour mieux comprendre l'objet à explorer. Processus qui prévoit plusieurs visions du même problème pour aider à trouver une solution acceptable. Les étapes successives nécessaires permettent de raffiner le niveau de détails de l'objet à explorer.

Perception : ensemble d'idées, de valeurs, d'attitudes, d'expériences qui entraînent une certaine compréhension, un aperçu de quelque chose, qui conditionne les processus décisionnels/logiques d'action/pratiques des hommes à propos de leur environnement. Pour les acteurs « usagers », leurs perceptions conditionnent les sources de régulation qu'ils choisissent de mobiliser pour accéder aux ressources. Pour les acteurs « régulateurs », leurs perceptions conditionnent la manière qu'ils auront de permettre ou non l'accès aux ressources aux différents usagers.

Pluralisme : le pluralisme est un concept qui est appliqué dans de différents contextes (ici le contexte de la régulation foncière sahélienne) et qui résulte de la coexistence de choses assez différentes les unes des autres : une pluralité de positions, de pensées, de perceptions.


Pluralité/Diversité : constate qu'il y a plusieurs (un grand nombre, une multiplicité de) choses.

Politique foncière/loi : un des systèmes (une des sources) de régulation qu'il est possible de mobiliser pour accéder aux ressources foncières.

Portefeuille/Puzzle de fonctionnement : ensemble d'éléments (règles et instances régulatrices) que l'utilisateur puise dans différentes sources de régulation foncière en fonction de ce qu'il perçoit exister, pour sécuriser son accès aux ressources à travers l'obtention d'un certain nombre (et niveau) de droits sur les ressources (voir faisceau de droits). Ce puzzle évolue dans le temps, au fil des expériences vécues et des interactions sociales locales, qui font évoluer la légitimité de telle ou telle source de régulation, ou plutôt de telle ou telle façon d'extraire une règle d'un système de régulation.

Processus décisionnel : processus d'interaction entre acteurs ayant des intérêts, des perceptions, des niveaux d'information et des poids différents dans la décision.

Système de régulation foncière : groupement d'un ensemble de mesures adoptant une certaine logique pour garantir le fonctionnement des systèmes d'exploitation des ressources foncières ou pour contrôler ou corriger ce fonctionnement.



Formes/Sources de régulation foncière : angle d'approche des usagers pour traduire l'idée que les usagers puisent de façon partielle dans un ensemble de règles/normes et d'instances régulatrices (issus des différents systèmes), sans impératif systémique : ce n'est pas parce qu'un usager décide à un instant t de mobiliser tel régulateur ou telle règle qu'il embrassera forcément l'intégralité du fonctionnement, et de la logique, du système qui lui sont associés.

Sécurité foncière : résultante de l'ensemble des actions permettant aux détenteurs de droits fonciers de jouir d'un accès et d'un usage des ressources qualitativement et quantitativement suffisant et d'être protégés contre d'éventuelles contestations. La sécurité foncière est ici un sentiment (Le Roy

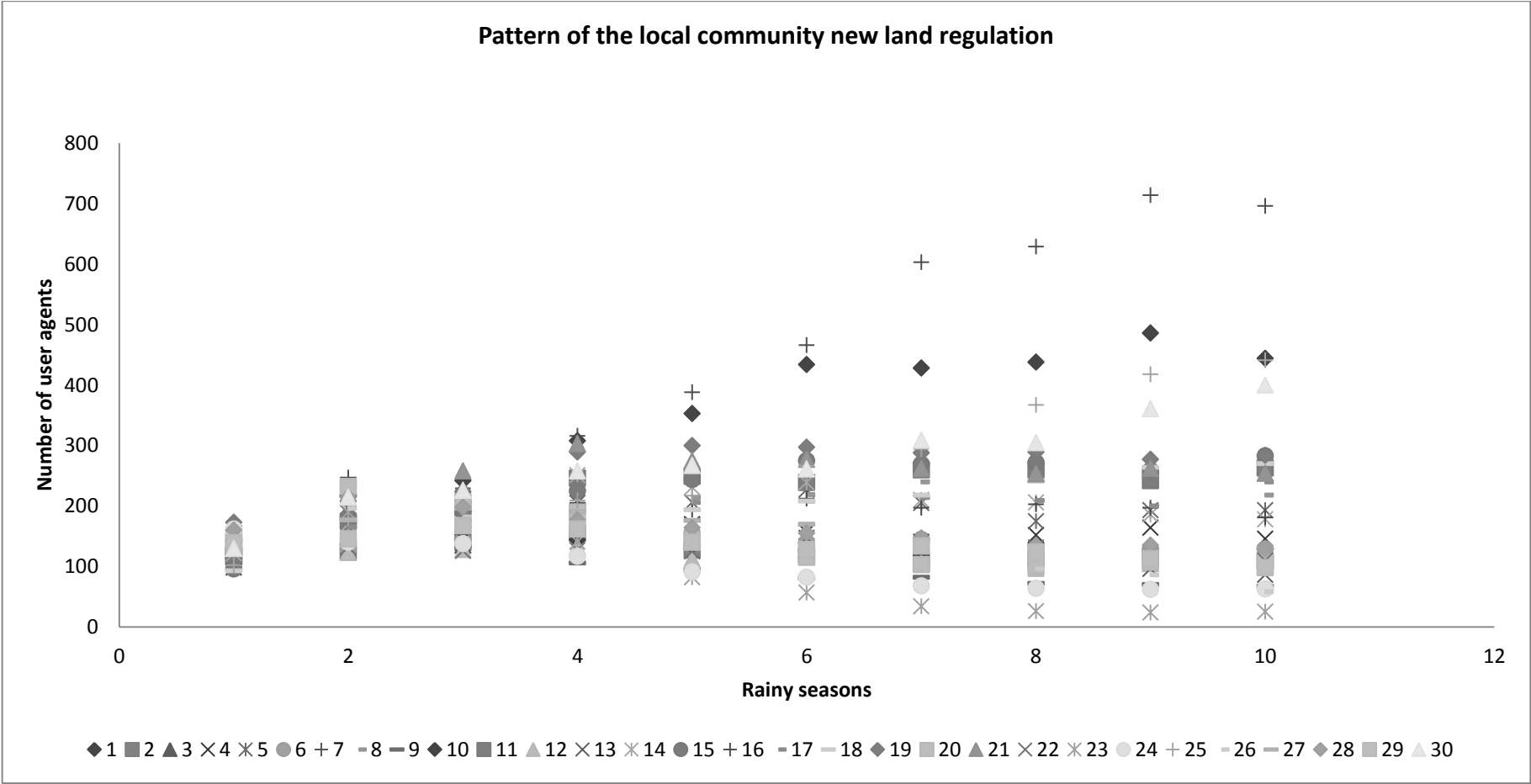
1999), fruit d'un processus dynamique qui change et s'adapte en fonction des conditions d'un contexte donné.

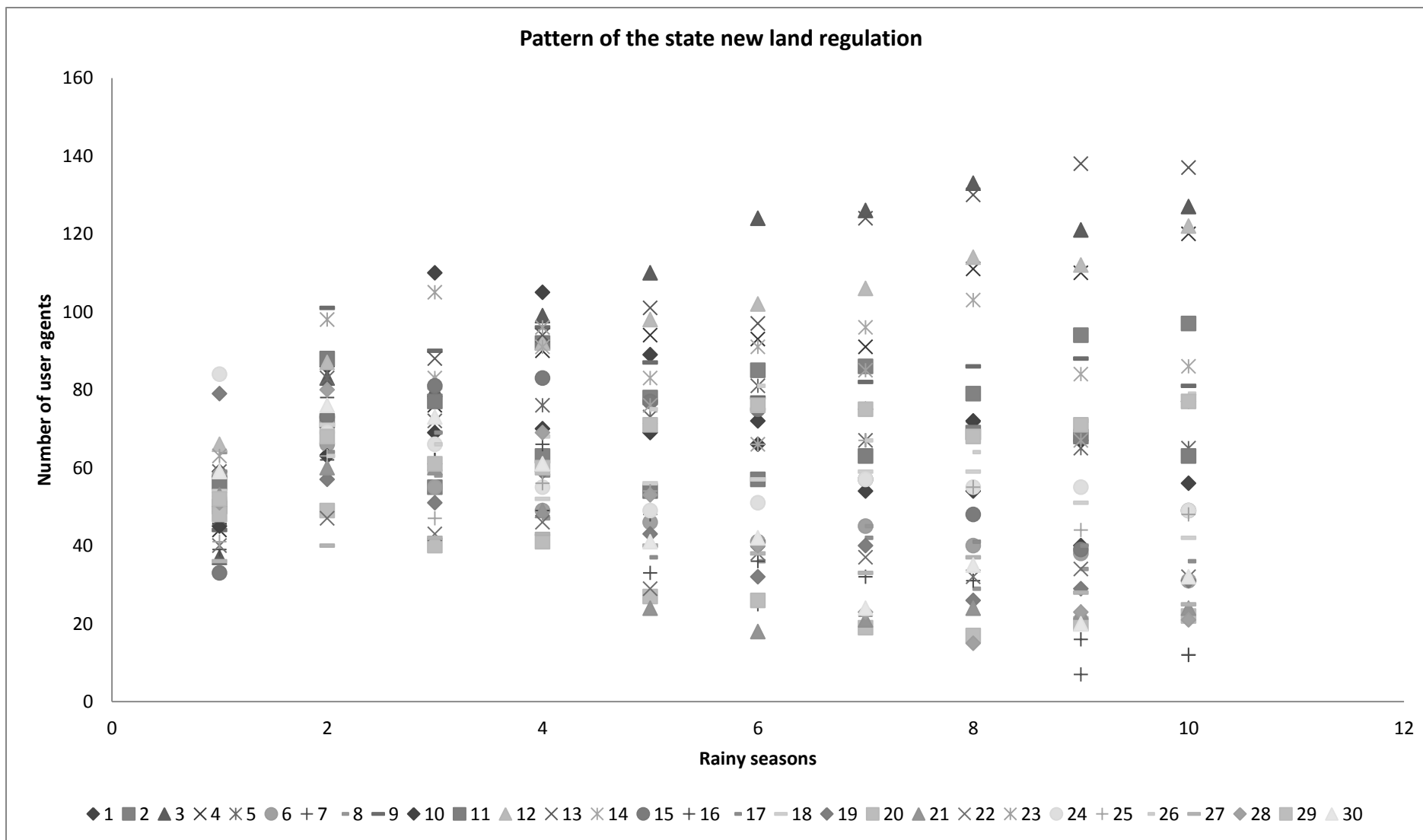
Socio-écosystème : reconnaissance de la complexité des systèmes humains en interaction forte avec le système environnemental leur servant de matrice de vie (Gallopain 1989, Berkes et Folke 1998, 2003).

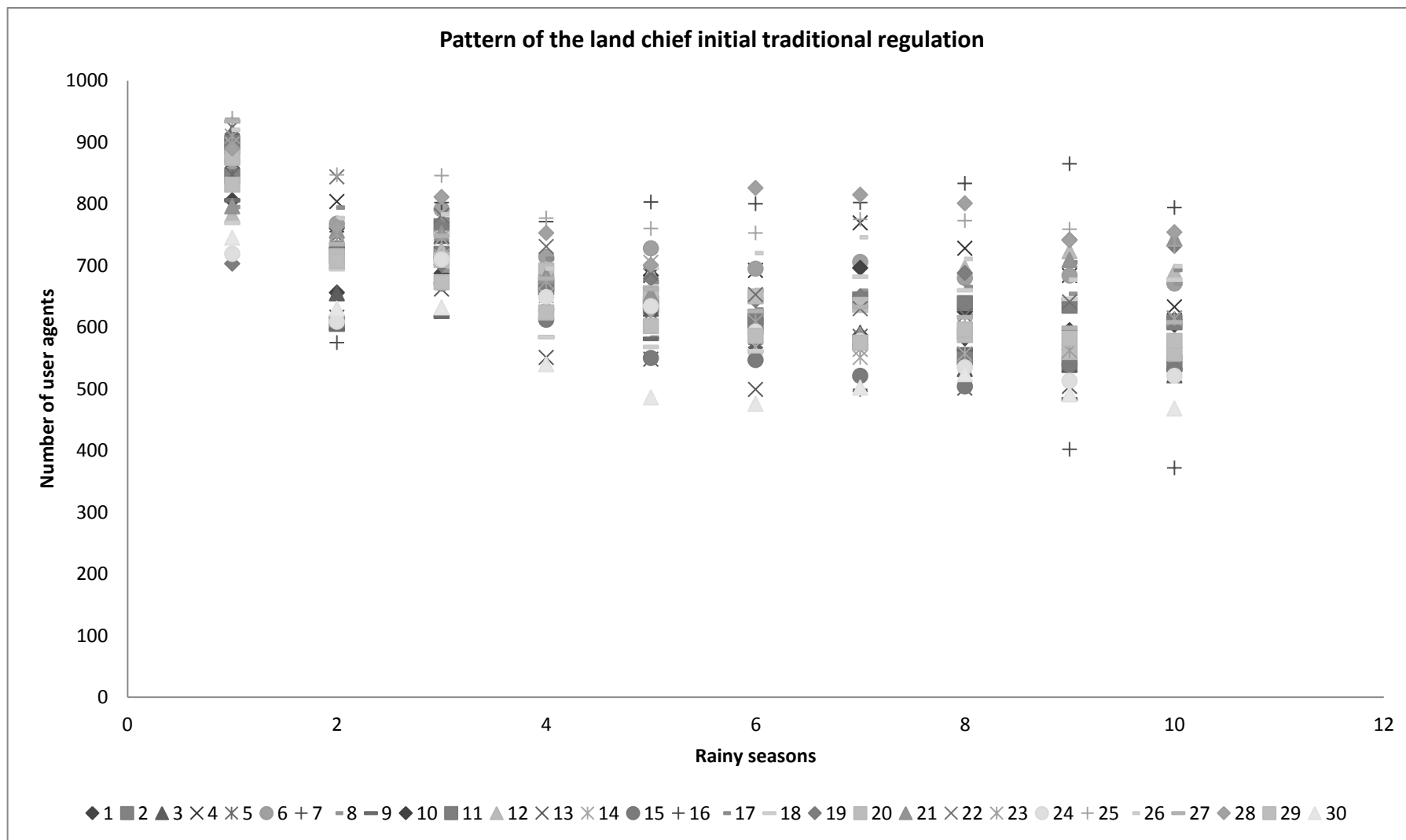
Territoire : espace défini sur lequel une ou plusieurs instances régulatrices revendiquent une autorité, un droit de gestion sur tout ou une partie des ressources qu'il recèle (Le Roy 2011).

Annexe 5 : Résultats de simulations de l'intégration de nouvelles régulations foncières dans la situation de référence de pluralisme sahélien

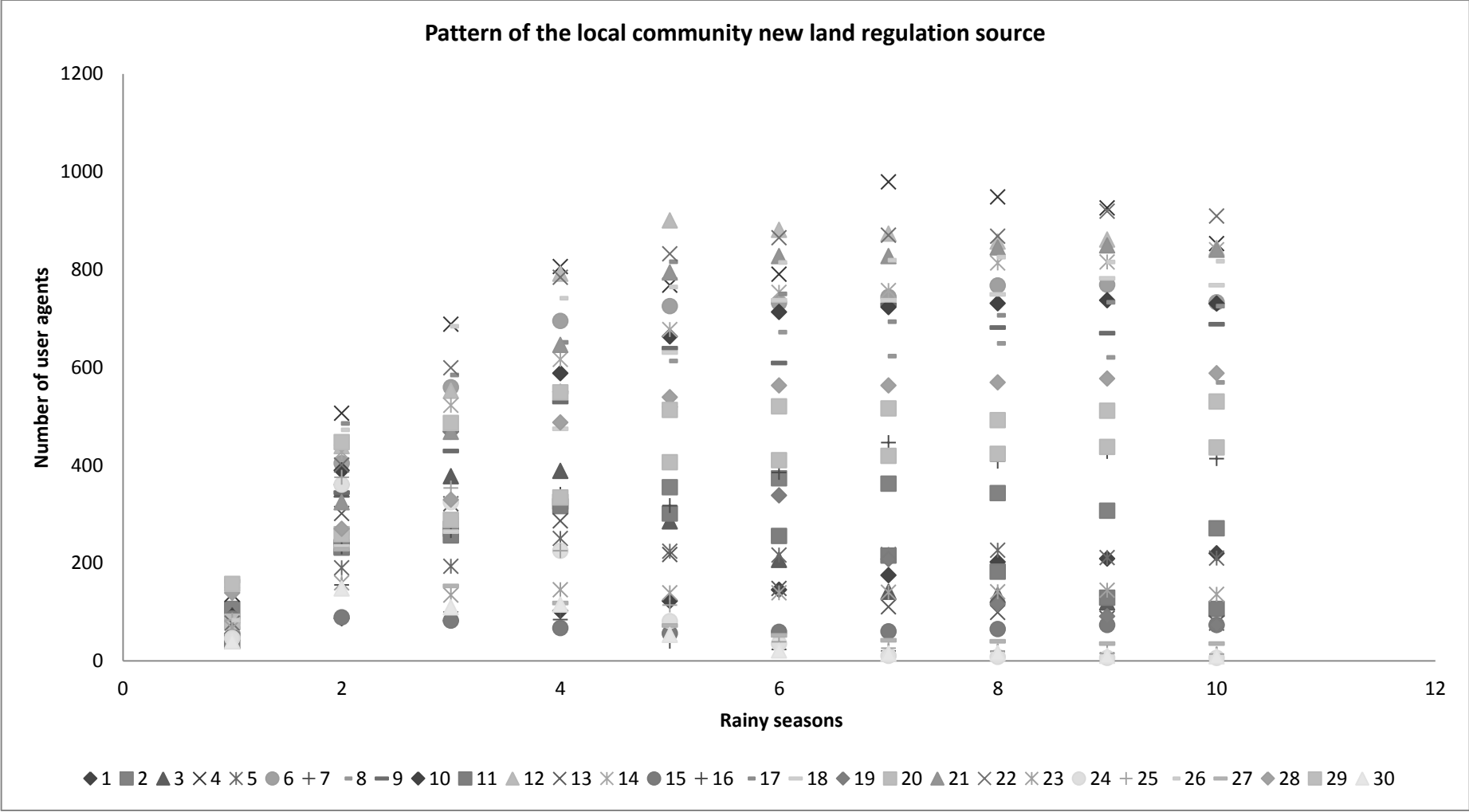
Appendix 5.1 Integration of the contiguously-localized introduction of new land regulation sources over time (pattern for the 10 rainy seasons of a simulation, with 30 repetitions) in the pluralist default situation

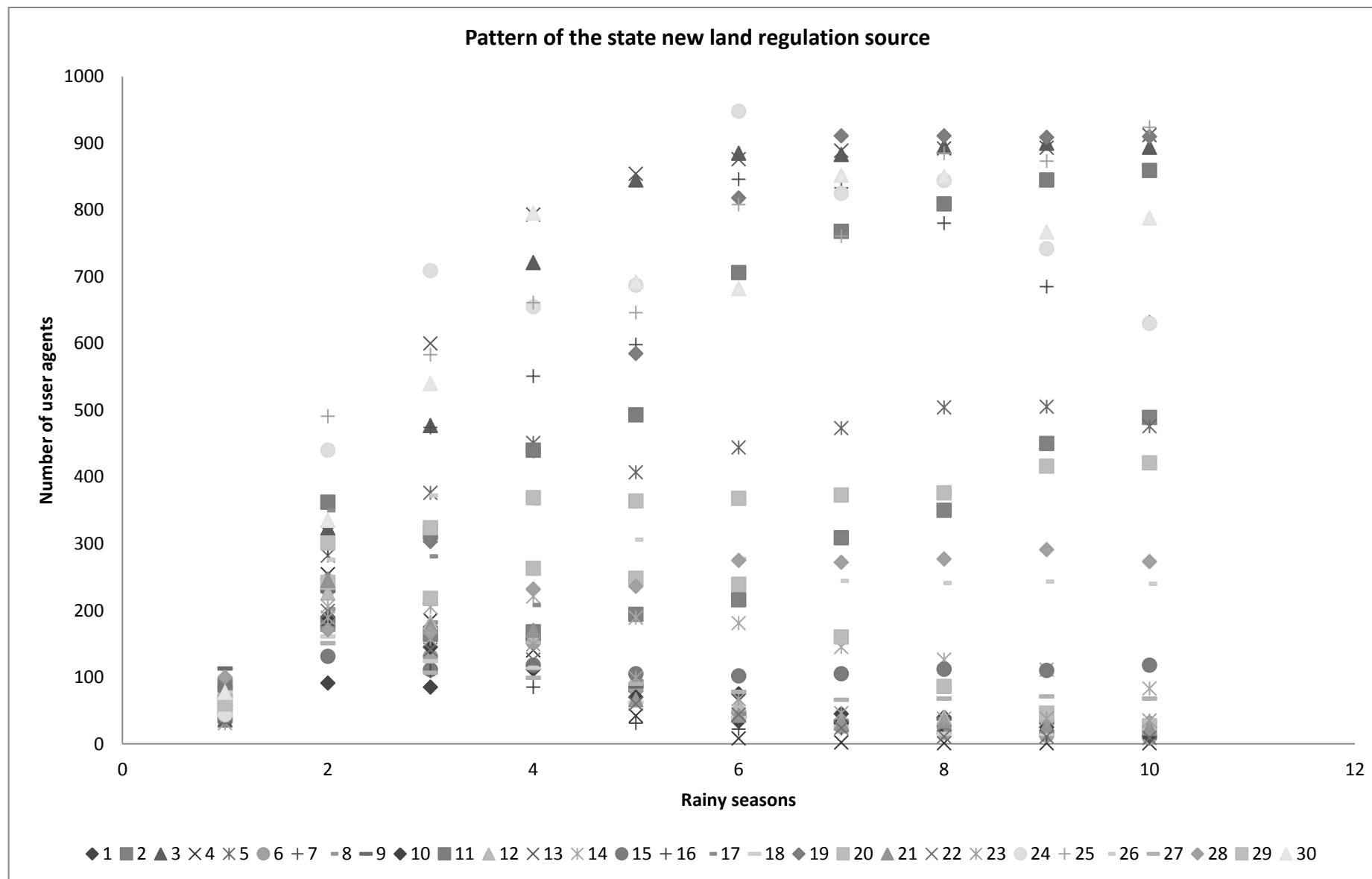


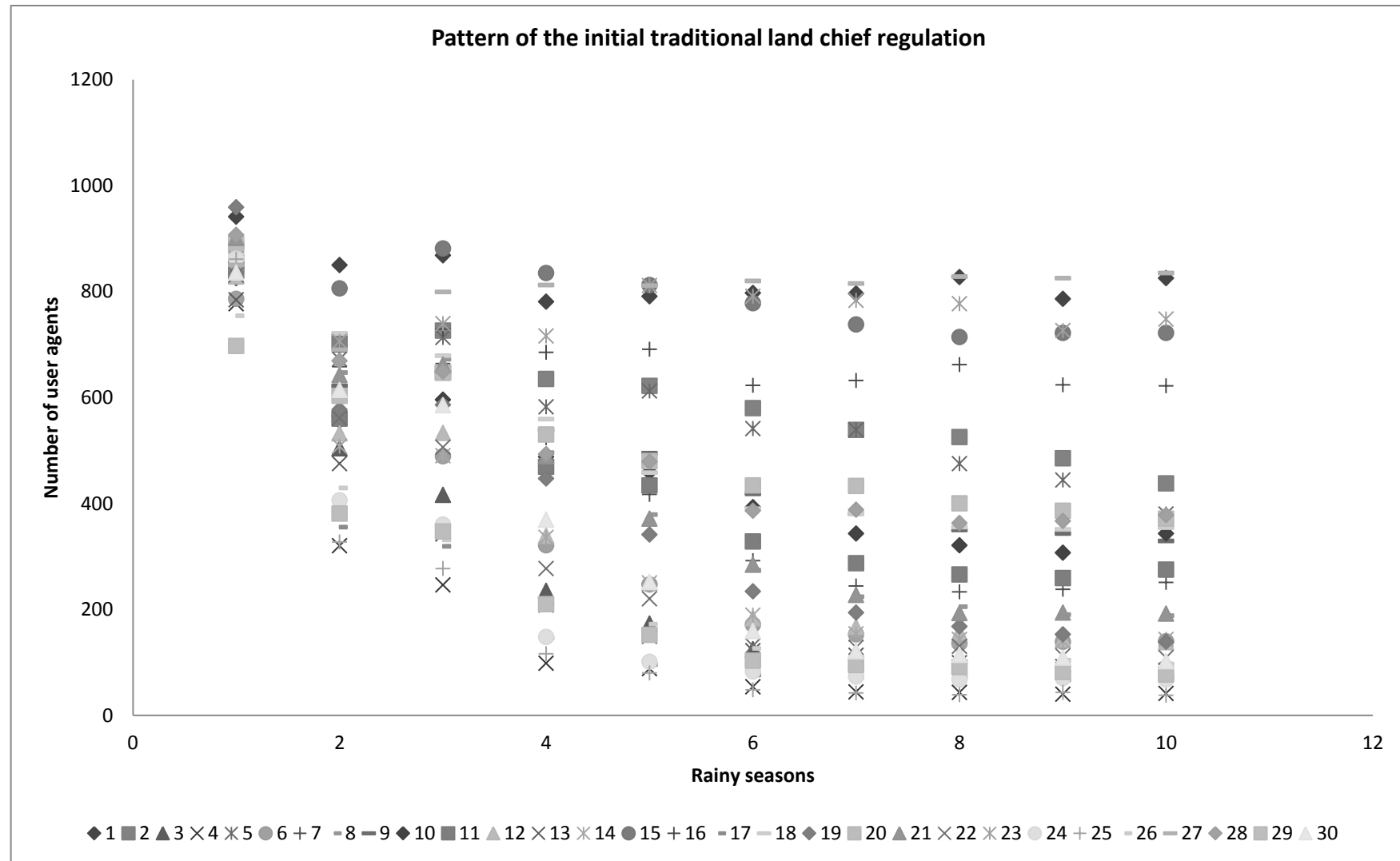











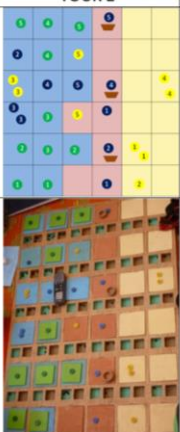





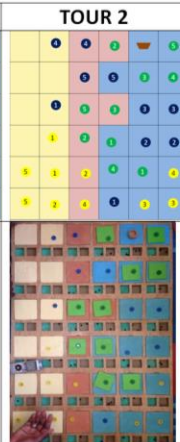




Appendix 2: Integration of the randomly introduced new land regulation sources over time (pattern for the 10 rainy seasons of a simulation, 30 repetitions realized) in the pluralist default situation

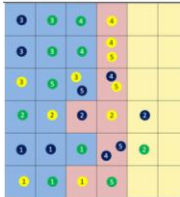
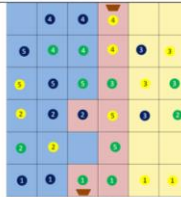
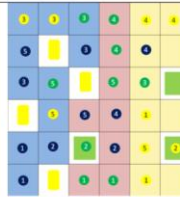













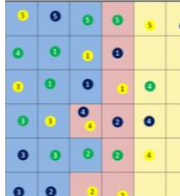
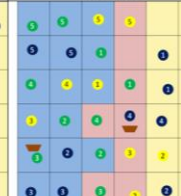
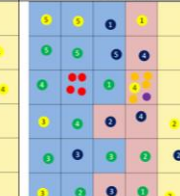











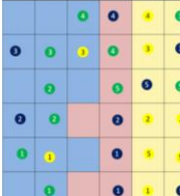






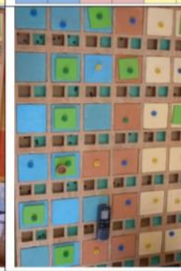

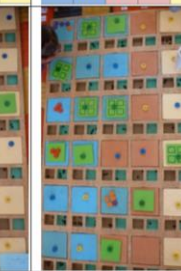


Annexe 6 : Evolution des pratiques individuelles des joueurs au niveau de chaque plateau de jeu pour les deux ateliers de simulation participative réalisés

| ATELIER 1 SINTHIOU BAMAMBE – FERLO ZONE AU FAIBLE POTENTIEL D'INTENSIFICATION AGRICOLE | | | | | |
|---|---|---|---|--|---|
| EVOLUTION PLATEAU 1 | | | | | |
| <p>TOUR 1</p>  | <p>TOUR 2</p>  | <p>TOUR 3</p>  | <p>TOUR 4</p>  | <p>TOUR 5</p>  | <p>TOUR 6</p>  |
| EVOLUTION PLATEAU 2 | | | | | |
| <p>TOUR 1</p>  | <p>TOUR 2</p>  | <p>TOUR 3</p>  | <p>TOUR 4</p>  | <p>TOUR 5</p>  | <p>TOUR 6</p>  |
| EVOLUTION PLATEAU 3 | | | | | |
| <p>TOUR 1</p>  | <p>TOUR 2</p>  | <p>TOUR 3</p>  | <p>TOUR 4</p>  | <p>TOUR 5</p>  | <p>TOUR 6</p>  |

| EVOLUTION PLATEAU 4 | | | | | |
|---|---|---|---|--|---|
| TOUR 1 | TOUR 2 | TOUR 3 | TOUR 4 | TOUR 5 | TOUR 6 |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |

ATELIER 2 GUIA – VALLEE DU FLEUVE SENEGAL
ZONE AU FORT POTENTIEL D'INTENSIFICATION AGRICOLE

| EVOLUTION PLATEAU 1 | | | | | |
|---|---|---|---|--|---|
| TOUR 1 | TOUR 2 | TOUR 3 | TOUR 4 | TOUR 5 | TOUR 6 |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |

| EVOLUTION PLATEAU 2 | | | | | |
|---|---|---|---|--|---|
| TOUR 1 | TOUR 2 | TOUR 3 | TOUR 4 | TOUR 5 | TOUR 6 |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |

| EVOLUTION PLATEAU 3 | | | | | |
|---------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| TOUR 1 | TOUR 2 | TOUR 3 | TOUR 4 | TOUR 5 | TOUR 6 |
| | | | | | |
| | | | | | |

| EVOLUTION PLATEAU 4 | | | | | |
|---------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| TOUR 1 | TOUR 2 | TOUR 3 | TOUR 4 | TOUR 5 | TOUR 6 |
| | | | | | |
| | | | | | |